CARLO ROVELLI

TAJEMNICA CZASU

Gwiazda literatury fizycznej każe nam przemyśleć na nowo koncepcję czasu... *Tajemnica czasu* z pewnością umieści Rovellego w panteonie największych popularyzatorów nauki.

Philip Ball *New Scientist*

Feeria science

CARLO ROVELLI

TAJEMNICA CZASU

Przekład:
Jeremi K. Ochab

Feeria
WYDAWNICTWO
science

Spis treści

Być może największą tajemnicą jest czas

CZĘŚĆ PIERWSZA. ROZPADANIE SIĘ CZASU

Rozdział 1. Utrata jedności

Rozdział 2. Utrata kierunku

Rozdział 3. Koniec teraźniejszości

Rozdział 4. Utrata niezależności

Rozdział 5. Kwanty czasu

CZĘŚĆ DRUGA. WSZECHŚWIAT BEZCZASOWY

Rozdział 6. Wszechświat składa się ze zdarzeń, a nie z rzeczy

Rozdział 7. Nieadekwatność gramatyki

Rozdział 8. Dynamika jako relacja

CZĘŚĆ TRZECIA. ŹRÓDŁA CZASU

Rozdział 9. Czas to niewiedza

Rozdział 10. Perspektywa

Rozdział 11. Co wyłania się ze szczególności

Rozdział 12. Aromat magdalenki

Rozdział 13. Źródła czasu

Siostra snu

Źródła ilustracji

Tytuł oryginału: *L’ordine del tempo*

Przekład z języka angielskiego: Jeremi K. Ochab
Redaktor prowadząca: Katarzyna Nawrocka
Redakcja: Dariusz Rossowski
Korekta: Grzegorz Krzymianowski
Skład i adaptacja okładki na potrzeby polskiego wydania: Norbert Młyńczak

Projekt okładki: Creation Flammarion Art Studio based upon images
© Dmitriy Rybin/Shutterstock.com; © Oleksandr Malovichko/Shutterstock.com

Copyright © 2017 Adelphi Edizioni S.P.S. Milano
Copyright for the Polish translation © Jeremi K. Ochab, 2019
Copyright for the Polish edition © Wydawnictwo JK, 2019

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej publikacji nie może być powielana ani rozpowszechniana za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez uprzedniego wyrażenia zgody przez właściciela praw.

ISBN 978-83-7229-825-6
Wydanie I, Łódź 2019

Wydawnictwo JK
Wydawnictwo JK, ul. Krokusowa 3,
92-101 Łódź tel. 42 676 49 69 www.wydawnictwofeeria.pl

Konwersję do wersji elektronicznej wykonano w systemie Zecer.

Ernestowi, Bilowi i Edoardowi

O ile nie podano inaczej, wiersze otwierające każdy z rozdziałów pochodzą z włoskich przekładów *Pieśni* Horacego, dokonanych przez Giulia Galettę, a wydanych w uroczym tomiku *In questo breve cerchio* (Edizioni del Paniere, Verona, 1980).

Być może największą tajemnicą jest czas

Nawet te słowa, które właśnie mówimy,
złodziej czas
porwał już z sobą
i nic nie zwraca [1]. (I, 11)

Staję i nie robię nic. Nic się nie dzieje. O niczym nie myślę. Przysłuchuję się, jak mija czas.

Taki jest czas – znajomy i bliski. Porywa nas. Biegnące sekundy, godziny i lata wrzucają nas w życie, a następnie ciągną ku nicości… Zamieszkujemy czas jak ryba wodę. Będąc, jesteśmy w czasie. Jego dostojna muzyka żywi nas, otwiera przed nami świat, niepokoi nas, przeraża i usypia. Wszechświat rozwija się w przyszłość, wleczony przez czas, i istnieje zgodnie z jego porządkiem.

W mitologii hinduskiej rzekę kosmosu przedstawia się jako święte wyobrażenie tańczącego Śiwy. Jego taniec zasila bieg wszechświata; sam jest upływaniem czasu. Cóż może być bardziej uniwersalnego i oczywistego niż to upływanie?

A jednak sprawy te są bardziej skomplikowane. Rzeczywistość często bardzo różni się od tego, czym się zdaje. Ziemia sprawia wrażenie płaskiej, ale naprawdę jest kulista. Słońce zdaje się poruszać po niebie, a naprawdę to my kręcimy się wokół osi Ziemi. Również struktura czasu nie jest taka, jaka się zdaje; różni się od tego jednorodnego, wszechobecnego upływu. Odkryłem to z najwyższym zdumieniem na studiach, w czytanych przeze mnie podręcznikach fizyki. Czas działa całkiem inaczej, niż się zdaje.

W tych samych podręcznikach odkryłem również, że wciąż do końca nie wiemy, jak czas rzeczywiście działa. Natura czasu jest bodaj największą z wciąż nierozwianych tajemnic. Zastanawiające związki łączą ją z pozostałymi wielkimi tajemnicami: naturą umysłu, początkiem

wszechświata, losem czarnych dziur, mechanizmami życia na Ziemi. Coś bardzo zasadniczego wciąż każe nam wracać do pytań o naturę czasu.

Źródłem naszego głodu wiedzy jest zadziwienie [P1], a odkrycie, że czas nie jest taki, jak myśleliśmy, zrodziło tysiące pytań. Istota czasu znajduje się w sercu moich badań z zakresu fizyki teoretycznej, którym poświęciłem całe życie. Na stronach tej książki zdaję relację z tego, czego dowiedzieliśmy się o czasie i jakimi ścieżkami podążamy, próbując pojąć go jeszcze lepiej. Pokazuję także, czego jeszcze nie rozumiemy oraz co moim zdaniem właśnie zaczynamy dostrzegać.

Dlaczego pamiętamy przeszłość, a nie przyszłość? Czy to my istniejemy w czasie, czy czas istnieje w nas? Co to tak naprawdę znaczy, że czas „mija”? Co łączy czas z naszą osobową naturą, z subiektywnością?

Co słyszę, gdy przysłuchuję się mijaniu czasu?

Książka ta dzieli się na trzy nierówne części. W pierwszej podsumowuję, czego współczesna fizyka dowiedziała się o czasie. A z czasem jest tak jak z płatkiem śniegu na dłoni – stopniowo, gdy mu się przyglądasz, roztapia się pomiędzy palcami i znika. Tradycyjnie myślimy o czasie jako o czymś prostym, podstawowym, co jednostajnie i niezależnie od wszystkiego innego płynie z przeszłości do przyszłości i co mierzymy zegarami. Wraz z upływem czasu zdarzenia we wszechświecie następują po sobie w uporządkowany sposób: przeszłe, teraźniejsze, przyszłe. Przeszłość jest ustalona, przyszłość swobodna… Wszystko to okazało się nieprawdziwe.

Jedna po drugiej wszystkie właściwości czasu okazywały się przybliżeniami, błędami uwarunkowanymi naszym punktem widzenia, tak jak płaskość Ziemi i ruch Słońca. Przyrost ludzkiej wiedzy doprowadził do powolnego rozpadu pojęcia czasu. To, co nazywamy „czasem”, jest złożonym zbiorem struktur czy warstw [P2]. Poddając czas coraz dokładniejszej i głębszej analizie, kawałek po kawałku odarliśmy go z kolejnych warstw. Pierwsza część niniejszej książki przedstawia właśnie to kruszenie się czasu.

Część druga opisuje to, z czym zostaliśmy: pusty, jałowy pejzaż pozbawiony niemal wszelkich śladów czasowości. Dziwny, obcy świat, który jednakże wciąż jest tym, do którego należymy. To jak przyjazd w wysokie góry, gdzie nie ma nic poza niebem, śniegiem i skałami; lub jak uczucie, którego zapewne doznali Armstrong i Aldrin, stawiając stopy na

nieruchomych piaskach Księżyca. Oto świat ogołocony do cna, skrzący się pustynnym, niepokojącym wdziękiem. Obszar fizyki, którym się zajmuję, grawitacja kwantowa, jest próbą zrozumienia i nadania spójnego znaczenia temu ekstremalnemu i czarownemu pejzażowi – światowi obywającemu się bez czasu.

Trzecia część książki jest najtrudniejsza, ale również najistotniejsza i najbliższa nam. W świecie bezczasowym musi przecież istnieć coś, co prowadzi do wykształcenia się takiego czasu, do jakiego przywykliśmy – z jego porządkiem, przeszłością różną od przyszłości i gładkim płynięciem. W jakiś sposób nasz czas musi się wokół nas wyłaniać, przynajmniej *dla* nas i w naszej skali [P3].

Jest to podróż powrotna do czasu utraconego w pierwszej części książki w trakcie badania podstawowej gramatyki wszechświata. Jak w kryminale udamy się na poszukiwanie winowajcy – sprawcy czasu. Krok po kroku odszukamy składniki znanego nam czasu, już nie jako elementarne struktury rzeczywistości, lecz jako użyteczne przybliżenia, wykorzystywane przez topornych i grubo ciosanych śmiertelników, którymi jesteśmy; są to właściwości przynależne naszemu punktowi widzenia, ale też właściwości, które być może stanowią wręcz o tym, jacy jesteśmy. Bo przecież ostatecznie tajemnica czasu zapewne w większym stopniu dotyczy nas samych niż kosmosu. Być może – tak jak w pierwszym i największym z kryminałów, *Królu Edypie* Sofoklesa – winowajcą okazuje się sam detektyw.

W tym miejscu książka przeistacza się w ognistą magmę koncepcji, czasem rozjaśniających przedmiot, a czasem dezorientujących. Jeśli zdecydujesz się pójść za mną, zabiorę cię tam, dokąd moim zdaniem sięga nasza wiedza o czasie – na sam skraj ciemnego, rozgwieżdżonego oceanu wszystkiego tego, czego wciąż nie wiemy.

1. O ile nie podano inaczej, cytaty z *Pieśni* Horacego są spolszczone przez Dariusza Rossowskiego z cenionego przez autora książki włoskiego przekładu G. Galetty (przyp. red.). [wróć]

CZĘŚĆ PIERWSZA

ROZPADANIE SIĘ CZASU

Rozdział 1

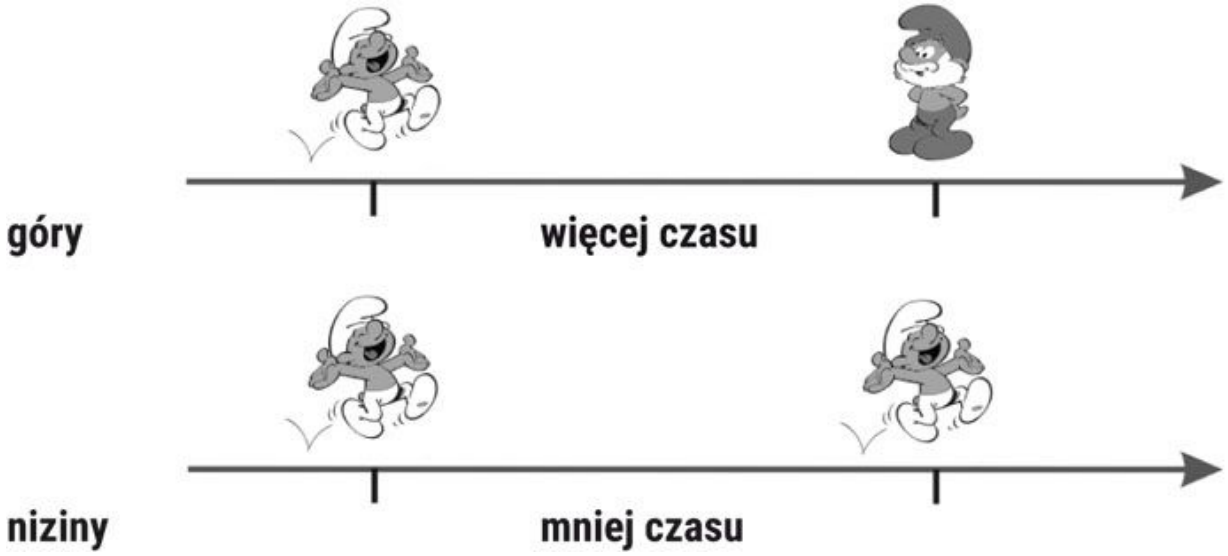
Utrata jedności

W miłosnych pląsach splatają się
wdzięczne dziewczęce postacie
srebrzone księżycem
tych przejrzystych nocy. (I, 4)

Zacznijmy od prostego faktu: czas płynie szybciej w górach niż na poziomie morza.

Różnica jest niewielka, ale da się ją zmierzyć za pomocą bardzo dokładnych zegarów, które za kilkanaście tysięcy złotych można dziś kupić w internecie. Każdy, przy pewnej wprawie, jest w stanie obserwować spowolnienie czasu. Zegary w specjalistycznych laboratoriach pozwalają je wykryć nawet przy różnicy kilku centymetrów wysokości: zegar znajdujący się na podłodze chodzi nieco wolniej niż drugi, leżący na stole.

Nie tylko zegary spowalniają – wszystkie procesy zachodzą w dole wolniej. Wyobraźmy sobie rozstanie dwóch przyjaciół: jeden pozostaje na nizinach, a drugi przeprowadza się na stałe w góry. Po latach znów się spotykają. Ten, który został w dole, żył mniej, mniej się zestarzał, wahadło jego zegara wychyliło się mniej razy. Miał mniej czasu na załatwianie swoich spraw, rośliny w jego domu mniej urosły, a jego myśli miały mniej czasu się skrystalizować. W dole jest po prostu mniej czasu niż w górze.



Niespodzianka? Zapewne, ale tak właśnie działa świat. Czas w jednych miejscach biegnie wolniej, a w innych szybciej.

Niespodzianką może być też to, że komuś udało się zrozumieć zjawisko spowalniania czasu niemal sto lat przed skonstruowaniem wystarczająco dokładnych zegarów do zmierzenia tego. Tym kimś był, rzecz jasna, Albert Einstein.

Umiejętność zrozumienia czegoś, zanim zostanie to zaobserwowane, leży u podstaw naukowego sposobu myślenia. Na długo zanim statki opłynęły glob ziemski, starożytny filozof Anaksymander pojął, że niebo rozciąga się także pod naszymi stopami. Na początku ery nowożytnej Kopernik doszedł do tego, że Ziemia się obraca. Zrobił to na długo przed tym, zanim astronauci zobaczyli obracającą się Ziemię z Księżyca. Podobnie Einstein zrozumiał, że czas nie biegnie wszędzie tak samo, zanim zbudowano wystarczająco dokładne zegary, żeby uchwycić różnice w upływie czasu.

Dokonując tego rodzaju postępów, uświadamiamy też sobie, że to, co wydawało się nam oczywiste, w rzeczywistości było uprzedzeniem. Wydawało się oczywiste, że niebo jest tylko nad, a nie pod nami – przecież w przeciwnym wypadku Ziemia by spadała. Wydawało się oczywiste, że Ziemia się nie porusza – w przeciwnym wypadku wszystko na niej by się przesuwało i zderzało z sobą. To, że czas płynie wszędzie z tą samą szybkością, wydawało się nam równie oczywiste… Dzieci dorastają i odkrywają, że świat nie jest taki, jaki jawił im się z perspektywy czterech ścian ich domów. Tak samo jest w przypadku całej ludzkości.

Einstein zadawał sobie pytanie, które zapewne i wielu z nas chodziło po głowie, gdy uczyliśmy się o grawitacji: jakim sposobem Słońce i Ziemia mogą się nawzajem „przyciągać”, skoro się nie dotykają ani nie korzystają z żadnego łącznika?

Szukał jakiegoś wiarygodnego wyjaśnienia i znalazł je, wyobrażając sobie, że Słońce i Ziemia nie przyciągają się bezpośrednio, ale każde z nich po trochu działa na coś, co znajduje się pomiędzy nimi. A skoro pomiędzy nimi znajduje się jedynie przestrzeń i czas, Einstein wyobraził sobie, że Słońce i Ziemia modyfikują przestrzeń i czas w swoim otoczeniu, tak jak ciało zanurzone w wodzie rozsuwa wodę wokół siebie. Ta zmiana struktury czasu wpływa z kolei na ruch ciał, powodując ich „spadanie” ku sobie [P4].

Co kryje się za sformułowaniem „modyfikacja struktury czasu”? Właśnie opisane wyżej jego spowolnienie – to, że masa spowalnia czas wokół siebie. Ziemia ma dużą masę, więc spowalnia czas w pobliżu siebie. Na nizinach efekt jest mocniejszy niż w górach, ponieważ niziny są bliżej niej. Dlatego właśnie ten z pary przyjaciół, który pozostał blisko poziomu morza, starzał się wolniej.

Jeśli przedmioty spadają, dzieje się to w wyniku spowalniania czasu. Tam, gdzie czas biegnie jednakowo – w przestrzeni międzyplanetarnej – nic nie spada. Wszystko tylko się unosi, dryfuje. Za to tutaj, na powierzchni naszej planety, ruch przedmiotów naturalnie zdąża w stronę miejsc, w których czas płynie wolniej – trochę tak jak wtedy, gdy wbiegamy z plaży do morza, i opór, który woda wywiera na nasze nogi, sprawia, że upadamy głową w fale. Wszystko leci w dół, ponieważ tam Ziemia spowalnia czas [P5].

Zatem, mimo że spowolnienie czasu niezbyt łatwo poddaje się obserwacji, wywołuje niebagatelne skutki: przez nie wszystko spada i to ono pozwala nam twardo stąpać po ziemi. Stopy przywierają nam do chodnika, dlatego że całe nasze ciało z natury ciąży ku miejscu, w którym czas płynie wolniej – a płynie on wolniej naszym stopom niż głowie.

Czy wydaje się to dziwne? Jest to podobne jak w tych cudownych chwilach, gdy oglądamy spektakl zachodzącego słońca, które znika powoli za chmurami w oddali, i nagle zdajemy sobie sprawę, że nie jesteśmy świadkami ruchu Słońca, lecz obrotu Ziemi. Zdezorientowani, widzimy zwariowanymi oczami wyobraźni, jak cała planeta (a na niej my sami)

obracamy się w tył, od Słońca. Patrzymy „szalonymi” oczami, jak Paul McCartney w *Fool on the Hill* (Głupek na wzgórzu): obłąkańczym wzrokiem, który sięga czasem dalej niż rozmyte spojrzenie naszych zwykłych oczu.

Dziesięć tysięcy roztańczonych Śiwów

Mam wielki sentyment do Anaksymandra, greckiego filozofa żyjącego 2600 lat temu, który pojmował, że Ziemia, niczym niepodparta, unosi się w przestrzeni [P6]. O rozważaniach Anaksymandra wiemy dzięki innym autorom. Z jego pism zachował się jeden niewielki fragment – tylko jeden:

> Z czego powstało to, co istnieje, w to samo się też obraca przez zniszczenie według koniecznego prawa (…) jedno drugiemu płaci karą i pokutą za niesprawiedliwość w porządku czasu [P7].

„W porządku czasu” (κατὰ τὴν τοῦ κρόνου τάξιν). Z tych zaczątków nauk przyrodniczych pozostały i rozbrzmiewają jedynie te niejasne i tajemniczo pobrzmiewające słowa – odwołanie do „porządku czasu”.

Podążając ścieżką wskazaną przez Anaksymandra, rozkwitły astronomia i fizyka: przez odkrywanie, jak zjawiska zachodzą w porządku czasu. Starożytna astronomia opisywała ruch gwiazd *w czasie*. Równania fizyki opisują zmiany różnych układów *w czasie*. Od równań Newtona, stanowiących fundament mechaniki, aż po równania zjawisk elektromagnetycznych Maxwella; od równania Schrödingera, opisującego ewolucję zjawisk kwantowych, po równania kwantowej teorii pola, wyznaczające dynamikę cząstek subatomowych – cała fizyka i nauka w ogóle mówi o tym, jak zjawiska zachodzą „w porządku czasu”.

Od dawna stosuje się konwencję oznaczania czasu w równaniach przez literę *t* (słowo „czas” zaczyna się od „t” w języku włoskim, francuskim czy hiszpańskim, ale już nie w niemieckim, arabskim, rosyjskim czy mandaryńskim). Co symbolizuje owo *t*? Liczbę wskazywaną przez zegar. Równania mówią nam, jak coś się zmienia w miarę upływu czasu mierzonego przez jakiś zegar.

Skoro jednak, jak już wiemy, różne zegary różnie mierzą czas, to co jest oznaczone przez *t*? Kiedy dwoje przyjaciół ponownie się spotka – jeden przeżywszy życie na nizinach, a drugi w górach – zegarki na ich rękach

będą wskazywać różne godziny. Którym z tych czasów jest *t*? W laboratorium fizycznym dwa zegary, jeden leżący na stole, a drugi na podłodze, tykają z inną szybkością. Który z nich wskazuje prawidłową godzinę? Jak interpretować różnicę między nimi? Czy powinniśmy mówić, że zegar na podłodze spóźnia się względem rzeczywistego czasu rejestrowanego na stole, czy może zegar na stole śpieszy się względem rzeczywistego czasu mierzonego przy ziemi?

Te pytania nie mają sensu. Równie dobrze moglibyśmy pytać, co jest prawdziwsze: wartość funta szterlinga w dolarach czy wartość dolara w funtach. Nie ma „prawdziwszej" wartości, są tylko dwie waluty, które mają wartość *jedna względem drugiej*. Nie ma prawdziwszego czasu. Są tylko dwa czasy, zmienne *względem siebie*. Żaden nie jest prawdziwszy od drugiego.

Z tym że mamy do czynienia nie tylko z *dwoma* czasami. Czasów jest mnóstwo, inny w każdym punkcie przestrzeni. Nie istnieje jakiś pojedynczy czas – jest ich cała mnogość.

Czas wskazywany przez konkretny zegar mierzący konkretne zjawisko nazywa się w fizyce czasem własnym. Każde zachodzące zjawisko ma swój czas własny, swój własny rytm.

Einstein podał równania opisujące, jak czasy własne biegną *względem siebie*. Pokazał nam, jak wyliczyć różnicę między dwoma czasami [P8].

Pojedyncza wielkość „czas" rozsnuwa się w całą pajęczynę czasów. Nie opisujemy tego, jak świat zmienia się w czasie – opisujemy, jak poszczególne rzeczy zmieniają się w czasie miejscowym i jak takie czasy miejscowe ewoluują *względem siebie*. Świat nie jest podobny do oddziału żołnierzy maszerujących w rytm kroków jednego dowódcy. Jest to sieć wpływających na siebie zdarzeń.

W taki sposób czas jest przedstawiony w ogólnej teorii względności. Równania Einsteina nie zawierają jednego „czasu" – zawierają niezliczoną liczbę czasów [P9]. Nie ma też pojedynczej rozpiętości czasu pomiędzy dwoma zdarzeniami, tak jak pomiędzy dwoma zegarami, które rozdzielono i znów do siebie zbliżono. Fizyka nie opisuje, jak rzeczy zmieniają się „w czasie", ale jak zmieniają się w czasach własnych, oraz jak „czasy" zmieniają się względem siebie [1].

Czas utracił swój pierwszy aspekt czy też swoją pierwszą warstwę: jedność. W każdym miejscu ma inny rytm, inaczej biegnie. Sprawy tego świata są utkane z tańców o różnych rytmach. Jeśli świat miałby być podtrzymywany przez tańczącego Śiwę, musi być dziesięć tysięcy takich Śiwów, jak na obrazach roztańczonych postaci Matisse'a…

1. Słowo „czas" ma kilka wzajemnie powiązanych, ale oddzielnych znaczeń. Oznacza 1. ogólne zjawisko następowania po sobie zdarzeń („czas upływa niepostrzeżenie"); 2. odcinek w takiej serii zdarzeń („za czasów króla Ćwieczka"); 3. długość tego odcinka („szczęśliwi czasu nie liczą"); 4. konkretny moment, często ten bieżący („komu w drogę, temu czas"); 5. zmienną odmierzającą, jak długo coś trwa („przyspieszenie jest pochodną prędkości po czasie"). W niniejszej książce używam słowa „czas" w każdym z tych znaczeń, zależnie od potrzeb. W razie niejasności proszę powrócić do tego przypisu. [wróć]

Rozdział 2

Utrata kierunku

Choćbyś dźwięczniej od Orfeusza,
który wzruszał nawet drzewa,
trącił struny cytry,
gorąca krew i tak nie powróci
w pustkę ciała snującej się mary (…)
Los srogi,
lecz lżej przychodzi go dźwigać,
skoro wszystko, co próbuje zawrócić,
zawodzi. (I, 24)

Skąd bierze się prąd odwieczny?

Zegarki mogą sobie chodzić w różnym tempie w górach i na nizinach, ale czy rzeczywiście właśnie to najbardziej zajmuje nas, gdy myślimy o czasie? Woda w rzece płynie wolniej przy brzegach niż w środku nurtu, wciąż jednak płynie… Czy i czas nie jest czymś, co zawsze płynie – z przeszłości ku przyszłości? Odłóżmy na bok kwestię, którą rozważaliśmy w poprzednim rozdziale: dokładnego pomiaru, *ile* czasu upływa, *liczb*, którymi opisuje się ten pomiar. Jest inna, bardziej zasadnicza cecha czasu: jego mijanie, upływ, „prąd odwieczny” z pierwszej *Elegii duinejskiej* Rilkego:

> Prąd odwieczny
> wciąż porywa z sobą wszystkie pokolenia
> z jednego obszaru w drugi i tłumi ich głosy w obydwu [P10].

Przeszłość i przyszłość różnią się od siebie. Przyczyna poprzedza skutek. Ból następuje po zranieniu, a nie przed nim. Szklanka rozbija się na tysiąc okruchów, ale okruchy te nie składają się w szklankę. Nie możemy zmienić przeszłości – możemy tylko czegoś żałować, wyrzucać sobie, wspominać.

Przyszłość zaś to niepewność, pragnienia, obawy, otwarta przestrzeń, być może przeznaczenie. Możemy ku niej zmierzać, kształtować ją, ponieważ jeszcze nie istnieje. Wszystko jest jeszcze możliwe… Czas nie jest linią prostą z dwoma równoważnymi kierunkami – jest strzałą o dwu różnych końcach.

Właśnie to ma dla nas zasadnicze znaczenie, a nie tempo upływu czasu. To jest jego fundamentalna cecha. Sekret czasu kryje się w tym ubywaniu, które czujemy cieleśnie w biciu pulsu, w zagadce pamięci, w lęku o jutro. To właśnie oznacza myśleć o czasie. Czym właściwie jest jego nurt? Gdzie mieści się w gramatyce kosmosu? Jaki trybik w mechanizmach wszechświata odgradza przeszłość, jego zajście, od przyszłości, jego jeszcze niezajścia? Dlaczego przeszłość jest dla nas tak odmienna od przyszłości?

Dziewiętnasto- i dwudziestowieczna fizyka włączyła się w poszukiwania odpowiedzi na te pytania, dochodząc do wniosku niespodziewanego i niepokojącego – i to znacznie bardziej niespodziewanego i niepokojącego niż stosunkowo marginalne spostrzeżenie, że czas w różnych miejscach płynie z różną szybkością. Otóż różnica pomiędzy przeszłością a przyszłością, pomiędzy przyczyną i skutkiem, pomiędzy pamięcią i nadzieją, pomiędzy żałowaniem a zamiarem nie występuje w podstawowych prawach opisujących mechanizmy świata.

Ciepło

Wszystko zaczęło się od królobójstwa. Szesnastego stycznia 1793 roku Konwent Narodowy w Paryżu skazał na śmierć Ludwika XVI. Bunt leży bodaj u najgłębszych źródeł postępu naukowego – w odmowie pogodzenia się z zastanym porządkiem [P11]. Pośród ludzi, którzy podjęli brzemienną w skutki decyzję, był przyjaciel Robespierre’a Lazare Carnot. Carnot

uwielbiał wielkiego perskiego poetę Sadiego z Szirazu. Poeta ten, pochwycony i uwięziony w Akce przez krzyżowców, jest autorem błyskotliwej strofy, która obecnie jest eksponowana przy wejściu do siedziby głównej Organizacji Narodów Zjednoczonych:

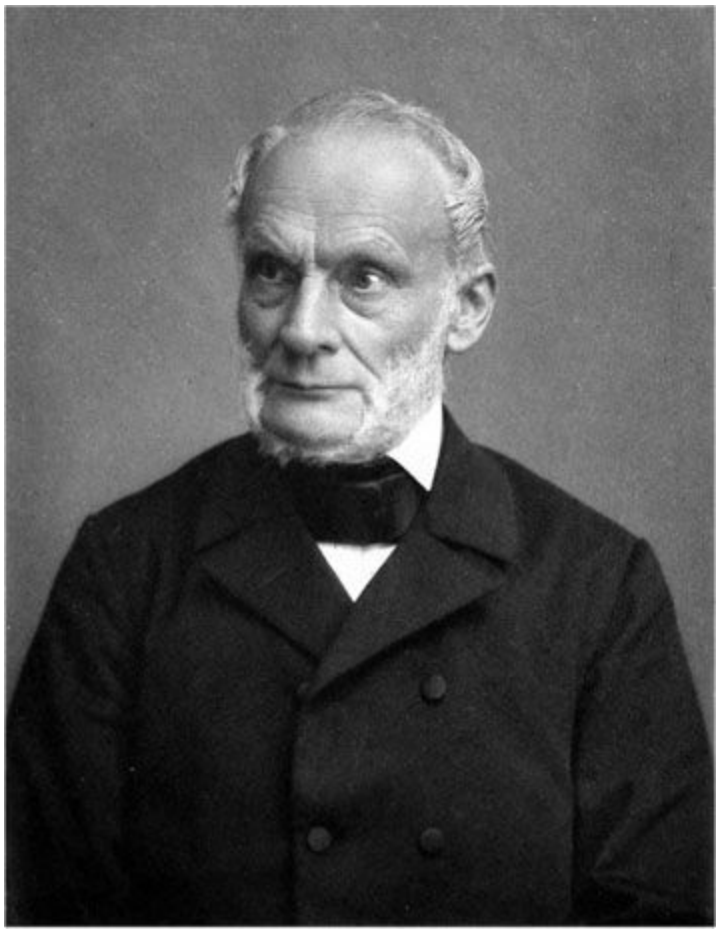
> Syny ludzkie członkami są jeden drugiego,
> Bo ich z jednej materii wszystkich utworzono;
> Kiedy los jeden członek boleścią dotyka,
> Inne nie będą pewnie w pokoju i w cale:
> Ty jeżeli się drugich boleścią nie trapisz,
> Nie słuszna tobie dawać nazwisko człowieka [P12].

Być może jednym z korzeni nauki jest również poezja – jej zdolność do wybiegania wzrokiem poza to, co widzialne. Carnot dał swojemu najstarszemu synowi imię po Sadim. Sadi Carnot był więc dzieckiem poezji i rewolucji.

W wieku młodzieńczym zafascynował się silnikami parowymi, które na początku XIX wieku zaczęły przemieniać świat przez wprawianie przedmiotów w ruch dzięki wykorzystaniu ognia. W 1824 roku napisał broszurę o urzekającym tytule *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (Przemyślenia o sile napędowej ognia), w której dociekał teoretycznych podstaw działania tych maszyn. Jego skromny traktat pełen był błędnych założeń. Carnot uważał, że ciepło jest jakąś substancją, swoistym płynem wytwarzającym energię przez „spadanie” z ciepłych ciał do zimnych – tak jak wody wodospadu mogą wytwarzać energię, spadając z wysokości. Zawarta była tam jednak myśl o podstawowym znaczeniu: że w ostatecznym rozrachunku silnik parowy działa dzięki przechodzeniu ciepła od tego, co gorące, do tego, co zimne.

Broszura Sadiego znalazła się w końcu w rękach pruskiego profesora o srogim spojrzeniu, Rudolfa Clausiusa. To właśnie on pojął tę zasadniczą kwestię i sformułował prawo, któremu pisany był rozgłos: jeśli w otoczeniu nic więcej się nie zmienia, ciepło *nie* może przejść z ciała zimnego do ciepłego.

Sprawą zasadniczą jest tutaj różnica w stosunku do zachowania spadających ciał: piłka może spaść, ale może też wzbić się z powrotem, na przykład odbiwszy się. Ciepło nie może.



Jest to *jedyne* z podstawowych praw fizyki, które rozróżnia przeszłość i przyszłość.

Takiego rozróżnienia nie czyni żadne inne – ani zasady Newtona, które rządzą mechaniką świata, ani spisane przez Maxwella równania elektryczności i magnetyzmu, ani relatywistyczne równania grawitacji Einsteina, ani mechanika kwantowa opracowana przez Heisenberga, Schrödingera i Diraca. Ani nawet sformułowane przez dwudziestowiecznych fizyków równania opisujące cząstki elementarne… *Ani jedno* z tych równań nie rozróżnia przeszłości i przyszłości [P13]. Jeśli dopuszczają one wystąpienie jakiegoś ciągu zdarzeń, to dopuszczają też ten sam ciąg biegnący w tył w czasie [P14]. W podstawowych równaniach opisujących wszechświat strzałka czasu pojawia się wyłącznie tam, gdzie jest ciepło [1]. Związek pomiędzy czasem i ciepłem ma więc charakter fundamentalny – ilekroć ujawnia się jakaś różnica pomiędzy przeszłością

a przyszłością, ma w tym udział ciepło. W każdym ciągu zdarzeń, który po odwróceniu czasu staje się absurdalny, coś się grzeje.

Gdy oglądam film z toczącą się kulą, nie jestem w stanie stwierdzić, czy jest wyświetlany poprawnie czy wspak. Jeśli jednak kula zatrzymuje się, wiem, że film pokazano właściwie – gdyby go puścić od tyłu, przedstawiałby zdarzenie nieprawdopodobne: kulę, która sama zaczyna się poruszać. Jej zwalnianie i zatrzymanie się są spowodowane tarciem, a tarcie wytwarza ciepło. Tylko tam, gdzie jest ciepło, występuje rozróżnienie przeszłości i przyszłości. Na przykład myśli toczą się z przeszłości w przyszłość, a nie na odwrót – a tak się składa, że myślenie wytwarza w naszych głowach ciepło.

Clausius wprowadził wielkość, którą można zmierzyć to nieodwracalne przechodzenie ciepła w jednym tylko kierunku, a ponieważ odebrał solidne, niemieckie wykształcenie, nadał jej nazwę zapożyczoną ze starożytnej greki, *entropia*:

> Uważam, że nazwy ważnych dla nauki wielkości lepiej jest zapożyczać z języków starożytnych, aby móc ich używać w tym samym brzmieniu we wszystkich językach nowożytnych. Proponuję zatem nazwać wielkość (*S*) ciała entropią, od greckiego słowa oznaczającego przemianę: ἡ τροπή [P15].

Entropia Clausiusa, oznaczona literą S, jest wielkością mierzalną i obliczalną [P16], która rośnie lub pozostaje stała, ale w procesie izolowanym *nigdy nie maleje*. Aby wskazać, że wielkość ta nigdy nie maleje, piszemy:

$$\Delta S \geq 0$$

Równanie to czyta się: „delta S jest zawsze większa lub równa zeru”. Nazywamy je drugą zasadą termodynamiki (pierwszą jest zasada zachowania energii). Jej istotą jest to, że ciepło przekazywane jest jedynie z ciał ciepłych do zimnych, ale nigdy na odwrót.

Proszę mi wybaczyć to równanie – w całej książce występuje tylko to jedno. To ono wyznacza strzałkę czasu i ciężko byłoby mi się powstrzymać przed umieszczeniem go w książce o czasie.

Jest to jedyne z podstawowych równań fizyki, które rozróżnia przeszłość i przyszłość. Jedyne, które mówi o płynięciu czasu. Za tym niezwykłym równaniem kryje się cały świat.

so erhält man die Gleichung:

$$(64)\quad \int \frac{dQ}{T} = S - S_0,$$

welche, nur etwas anders geordnet, dieselbe ist, wie die unter (60) angeführte zur Bestimmung von S dienende Gleichung.

Sucht man für S einen bezeichnenden Namen, so könnte man, ähnlich wie von der Gröfse U gesagt ist, sie sey der *Wärme- und Werkinhalt* des Körpers, von der Gröfse S sagen, sie sey der *Verwandlungsinhalt* des Körpers. Da ich es aber für besser halte, die Namen derartiger für die Wissenschaft wichtiger Gröfsen aus den alten Sprachen zu entnehmen, damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können, so schlage ich vor, die Gröfse S nach dem griechischen Worte ἡ τροπή, die Verwandlung, die *Entropie* des Körpers zu nennen. Das Wort *Entropie* habe ich absichtlich dem Worte *Energie* möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden Gröfsen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt, dafs eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäfsig zu seyn scheint.

Fassen wir, bevor wir weiter gehen, der Uebersichtlichkeit wegen noch einmal die verschiedenen im Verlaufe der Abhandlung besprochenen Gröfsen zusammen, welche durch die mechanische Wärmetheorie entweder neu eingeführt sind, oder doch eine veränderte Bedeutung erhalten haben, und welche sich alle darin gleich verhalten, dafs sie durch den augenblicklich stattfindenden Zustand des Körpers bestimmt sind, ohne dafs man die Art, wie der Körper in denselben gelangt ist, zu kennen braucht, so sind es folgende sechs: 1) der *Wärmeinhalt*, 2) der *Werkinhalt*, 3) die Summe der beiden vorigen, also der *Wärme- und Werkinhalt* oder die *Energie*; 4) der *Verwandlungswerth des Wärmeinhaltes*, 5) die *Disgregation*, welche als der Verwandlungswerth der stattfindenden Anordnung der Bestandtheile zu

Jest to strona z artykułu Clausiusa, w którym po raz pierwszy wprowadza on pojęcie i nazwę „entropia”. Równanie u góry podaje matematyczną definicję zmiany entropii ciała (S – S0): suma (całka) ilości ciepła dQ opuszczającego ciało o temperaturze T.

Zawdzięczamy je tyleż nieszczęsnemu, co ujmującemu Austriakowi, wnukowi zegarmistrza, postaci tragicznej i romantycznej – Ludwigowi Boltzmannowi.

Rozmycie

To Boltzmann zauważył, co kryje się za równaniem $\Delta S \geq 0$, i tym samym pozwolił nam dokonać zawrotnego skoku ku zrozumieniu intymnej gramatyki wszechświata.

Pracował w Grazu, Heidelbergu, Berlinie, Wiedniu, a potem znów w Grazu. Półżartem lubił przypisywać swoją niemożność usiedzenia w miejscu temu, że urodził się w ostatki. W rzeczywistości spory udział w ruchliwości uczonego miała jego chwiejność emocjonalna – miotał się pomiędzy euforią a dojmującym przygnębieniem. Był niski i tęgi, miał ciemne, kręcone włosy i talibską brodę; jego wybranka mówiła o nim „mój

słodki pysiaczek”. To właśnie ów Ludwig stał się tragicznym bohaterem kierunkowości czasu.

Sadi Carnot uważał, że ciepło jest substancją, płynem. Mylił się. Ciepło to mikroskopowe pobudzenie cząsteczek. Gorąca herbata to herbata o bardzo pobudzonych cząsteczkach. Zimna herbata to taka, której cząsteczki są tylko odrobinę pobudzone. W podgrzewanej i roztapiającej się kostce lodu cząsteczki stają się coraz bardziej ruchliwe i tracą ścisłe połączenia między sobą.

Pod koniec XIX wieku wielu badaczy wciąż nie wierzyło w istnienie cząsteczek i atomów. Ludwig był pewny ich realności i uczynił je przedmiotem swojej naukowej batalii. Legendarne stały się jego diatryby przeciw niedowiarkom. „Nasze pokolenie całym sercem było po jego stronie” – lata później wspomniał jeden z młodych wirtuozów mechaniki kwantowej [P17]. W ciągu jednej z takich płomiennych dysput na konferencji w Lubece ceniony fizyk [P18] utrzymywał wbrew Boltzmannowi, że materializm naukowy poległ, gdyż prawa rządzące materią nie podlegają kierunkowości czasu. Cóż, fizycy też nie są odporni na bakcyla bzdurzenia.

Spoglądając na zachodzące słońce, Kopernik widział obracającą się Ziemię. Patrząc na nieruchomą wodę w szklance, Boltzmann dostrzegał opętańczy *ruch* atomów i cząsteczek.

My widzimy wodę w szklance tak, jak astronauci widzieli Ziemię z Księżyca: spokojną, lśniącą, błękitną. Stamtąd nie byli w stanie dostrzec kipiącego energią ziemskiego życia, roślin i zwierząt, naszych pragnień i klęsk. Był tylko pożyłkowany błękitny koralik. Pod zwierciadłem wody w szklance toczy się równie burzliwe życie, na które składają się działania niezliczonej liczby molekuł – znacznie większej niż jest organizmów żywych na Ziemi.

Ten zgiełk porusza wszystko wokół. Gorączkowy harmider cząsteczek szturcha ich nieruchomych sąsiadów. Pobudzenie rozchodzi się, molekuły wpadają na siebie i się popychają. W taki sposób zimne przedmioty nagrzewają się przy zetknięciu z gorącymi: ich cząsteczki są potrącane przez te rozgrzane i w tłumie narasta wzburzenie. Innymi słowy, nagrzewają się.

Wzbudzenie termiczne jest jak ciągłe tasowanie talii kart: jeśli karty były uporządkowane, tasowanie wprowadza je w bezład. W ten sposób ciepło

przechodzi z obiektów gorących do zimnych, a nie na odwrót – przez tasowanie, naturalne wprowadzanie nieładu. Wzrost entropii nie jest niczym innym, jak wszechobecnym i dobrze nam znanym naturalnym narastaniem bałaganu.

To właśnie zrozumiał Boltzmann. Różnica między przeszłością a przyszłością nie leży w podstawowych równaniach ruchu, nie zawiera się w głębokiej gramatyce przyrody. Do powstawania coraz mniej wyjątkowych, coraz mniej specyficznych sytuacji prowadzi naturalne zaburzanie porządku.

Była to błyskotliwa intuicja, a przy tym poprawna. Czy jednak wyjaśnia ona różnicę pomiędzy przeszłością a przyszłością? Nie. Przesuwa jedynie punkt ciężkości pytania. Teraz przybiera ono formę: Dlaczego w jednym kierunku czasu – tym nazywanym przeszłością – świat był bardziej uporządkowany? Dlaczego wielka talia kart kosmosu była w przeszłości poukładana? Dlaczego w przeszłości entropia była mniejsza?

Jeśli obserwujemy zjawisko, które *zaczyna się* od stanu niskiej entropii, jasne jest, dlaczego entropia rośnie – ponieważ w toku tasowania wszystko się miesza. Dlaczego jednak zjawiska, które śledzimy w otaczającym nas kosmosie, w ogóle wyszły od stanu niskiej entropii?

Dochodzimy tu do kluczowej kwestii. Jeśli pierwsze 26 kart w talii jest czerwone, a kolejne 26 jest czarne, to taki układ kart nazwiemy „szczególnym” czy „uporządkowanym”. Porządek znika, gdy potasujemy talię. Ta początkowa, uporządkowana konfiguracja jest stanem o niskiej entropii. Zwróćmy jednak uwagę, że jest ona szczególna, tylko gdy skupiamy się na kolorach kart – czerwonym lub czarnym. Jest szczególna, ponieważ zwracamy uwagę na kolor. Będziemy mieli do czynienia z inną konfiguracją szczególną, jeśli na pierwsze 26 kart będą się składać tylko kiery i piki. Albo jeśli wszystkie będą nieparzyste, albo będzie to 26 najbardziej pogniecionych kart w talii, albo będzie to te same 26 kart co trzy dni temu… Albo jeśli mają one jakikolwiek inny wspólny wyróżnik. Kiedy się nad tym dokładnie zastanowimy, *każda konfiguracja jest szczególna*, gdy rozważamy wszystkie detale, ponieważ każda ma w sobie coś, co charakteryzuje ją w niepowtarzalny sposób. Podobnie jak dziecko, które jego matce zawsze wydaje się wyjątkowe i niepowtarzalne.

Wynika z tego, że idea większej lub mniejszej szczególności danego układu w stosunku do innego (na przykład 26 kart czerwonych przed 26

czarnymi) ma sens wyłącznie wtedy, gdy zwracamy uwagę tylko na niektóre aspekty kart (w tym przypadku na kolor). Kiedy zaś rozróżniamy każdą kartę z osobna, wszystkie ich konfiguracje są równoważne – żadna konfiguracja nie jest ani mniej, ani bardziej wyjątkowa niż pozostałe. Pojęcie „szczególności" rodzi się dopiero w chwili, gdy zaczynamy postrzegać wszechświat w rozmyty, przybliżony sposób [P19].

Boltzmann pokazał, że entropia istnieje dlatego, że nasz opis świata jest nieostry. Wykazał, że jest wielkością zliczającą różne konfiguracje, których nie rozróżnia nasze rozmyte spojrzenie. Ciepło, entropia oraz jej mniejsza ilość w przeszłości to pojęcia, które należą do przybliżonego, statystycznego opisu przyrody.

Rozróżnianie przeszłości i przyszłości ma głęboki związek z owym rozmyciem… A skoro tak, to czy gdybym mógł wziąć pod uwagę wszystkie szczegóły stanu mikroskopowego wszechświata, zniknęłyby charakterystyczne aspekty upływu czasu?

Odpowiedź brzmi: tak. Jeśli obserwuję mikrostan danego układu, różnica pomiędzy przeszłością i przyszłością się zaciera. Na przykład przyszłość świata jest zdeterminowana przez jego stan obecny – choć ani mniej, ani więcej niż zdeterminowana jest jego przeszłość [P20]. Często mówimy, że przyczyny poprzedzają skutki, a jednak zgodnie z podstawowymi zasadami gramatyki rzeczywistości nie istnieje rozróżnienie „przyczyny" i „skutku" [2]. Istnieją pewne prawidłowości – wyrażone w tym, co nazywamy prawami fizyki – które łączą zdarzenia w różnych punktach czasu, ale są one symetryczne względem przyszłości i przeszłości. W opisie mikroskopowym w żadnym sensie przeszłość nie może być różna od przyszłości [3].

Taki właśnie niepokojący wniosek wypływa z prac Boltzmanna. Różnica między przeszłością i przyszłością wiąże się wyłącznie z *naszym* nieostrym postrzeganiem świata. Konkluzja ta wprawia w osłupienie. Czy to naprawdę możliwe, że percepcja tak wyraźna, podstawowa, egzystencjalna – moja percepcja upływu czasu – jest dyktowana tym, że nie pojmuję świata we wszystkich jego najdrobniejszych szczegółach? Że jest pochodną swoistego zniekształcenia powodowanego krótkowzrocznością? Czy prawdą jest, że gdybym umiał dokładnie zobaczyć i wziąć pod uwagę rzeczywisty taniec milionów molekuł, przyszłość byłaby „zupełnie taka" jak przeszłość? Czy to możliwe, że o przyszłości wiem równie dużo – lub

mało – co o przeszłości? Nawet zważywszy na to, że częstokroć postrzegamy świat błędnie, czy naprawdę może on aż tak dalece i tak zasadniczo różnić się od naszego pojęcia o nim?

Wszystko to podkopuje fundamenty naszego zwyczajnego rozumienia czasu. Wywołuje równie wielkie niedowierzanie jak niegdysiejsze odkrycie, że Ziemia się kręci. Jednakże dowody – podobnie jak dowody na ruch Ziemi – są przytłaczające: wszystkie zjawiska charakteryzujące upływ czasu można sprowadzić do „szczególnego” stanu w przeszłości wszechświata, którą to „szczególność” można przypisać nieostrości naszej perspektywy.

W dalszej części zagłębię się w tajemnicę tego rozmycia, żeby pokazać, jak wiąże się ono z dziwnym początkowym nieprawdopodobieństwem wszechświata. Tymczasem zakończę zadziwiającym, w pełni zrozumianym przez Boltzmanna wnioskiem, że entropia jest ni mniej, ni więcej tylko liczbą stanów mikroskopowych, których nasze nieostre widzenie świata nie jest w stanie rozróżnić.

Równanie wyrażające to stwierdzenie [P21] wykute jest na nagrobku Boltzmanna w Wiedniu, ponad marmurowym popiersiem ukazującym go jako postać srogą i warkliwą – człowieka, jakim według mnie tak naprawdę nie był. Do tego grobu przybywa wielu studentów fizyki, oddając się tam chwili zadumy. A niekiedy zjawia się też osobliwy, starszawy profesor.

Czas utracił kolejną konstytutywną właściwość: elementarne rozróżnienie na przeszłość i przyszłość. Boltzmann zdawał sobie sprawę, że w upływie czasu nie ma nic elementarnego, że jest to jedynie rozmyte odbicie tajemniczego nieprawdopodobieństwa wszechświata w pewnym momencie przeszłości.

Właśnie to, nic innego, jest źródłem „odwiecznego prądu” Rilkego.

Mianowany na stanowisko profesora w wieku zaledwie 25 lat, u szczytu kariery przedstawiony na dworze cesarskim monarsze, bezlitośnie

krytykowany przez większość świata akademickiego, nierozumiejącego jego myśli, nieprzerwanie balansujący między euforią i załamaniem – „słodki pysiaczek” Ludwig Boltzmann odebrał sobie życie.

Powiesił się w Duino pod Triestem, gdy jego żona i córka kąpały się w Adriatyku.

W tym samym Duino, w którym zaledwie kilka lat później Rilke napisał swoje *Elegie*.

1. Ściśle mówiąc, strzałka czasu może pojawiać się również w zjawiskach, które nie mają bezpośredniego związku z ciepłem, ale odznaczają się tymi samymi podstawowymi cechami, na przykład w elektrodynamice, gdzie używa się potencjałów opóźnionych. Do tych zjawisk stosują się również przedstawione dalej rozważania, a w szczególności wnioski. Żeby nie przeładować tego omówienia szczegółowymi informacjami, nie zagłębiam się jednak w te kwestie. [wróć]
2. Nieco więcej szczegółów w tej kwestii podaję w rozdziale 11. [wróć]
3. Rzecz nie w tym, że to, co dzieje się z zimną łyżeczką w filiżance gorącej herbaty, miałoby zależeć od mojego ostrego lub nieostrego postrzegania. To, co dzieje się z łyżeczką i jej cząsteczkami, nie zależy – oczywista – od tego, jak ją postrzegam. Dzieje się samo przez się. Rzecz w tym, że opis za pomocą ciepła, temperatury oraz przejścia ciepła z herbaty do łyżeczki daje rozmyty obraz tego, co się dzieje, i że tylko przy tym rozmyciu wyłania się uderzająca różnica pomiędzy przeszłością a przyszłością.
   Jest to strona z artykułu Clausiusa, w którym po raz pierwszy wprowadza on pojęcie i nazwę „entropia”. Równanie u góry podaje matematyczną definicję zmiany entropii ciała ($S – S0$): suma (całka) ilości ciepła dQ opuszczającego ciało o temperaturze T. [wróć]

Rozdział 3

Koniec teraźniejszości

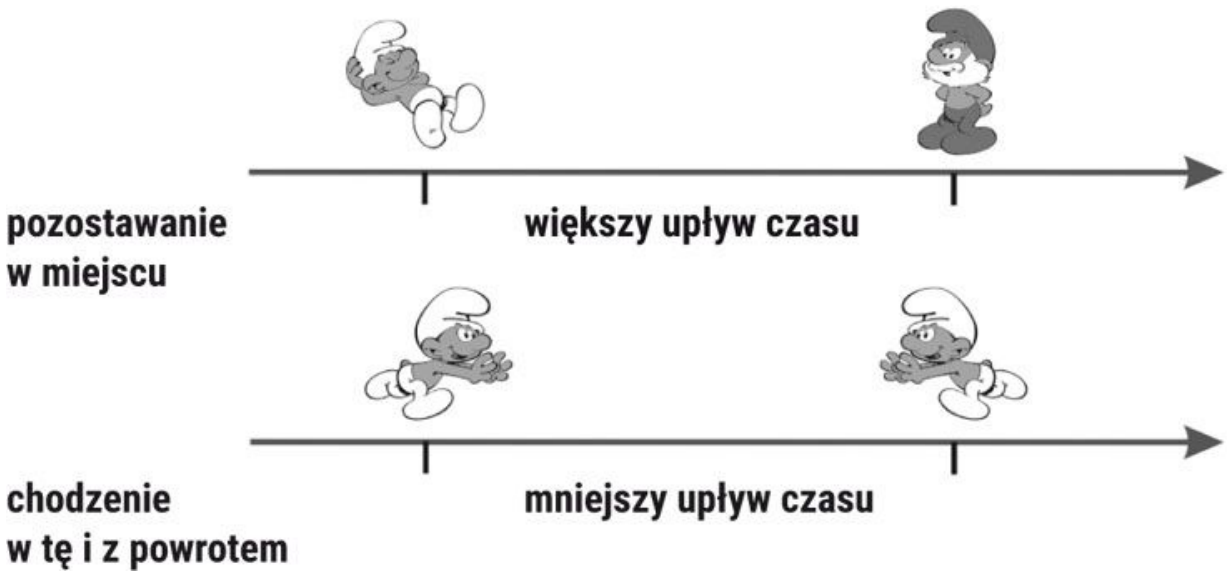
Na ten słodki powiew
wiosny
rozwiera się
lodowa pieczęć nieruchomej
pory
i łódki znów wychodzą w morze (…)
Czas spleść już
sobie wieńce,
przyozdobić głowy. (I, 4)

Również prędkość spowalnia czas

Dziesięć lat przed dojściem do tego, że masa spowalnia czas [P22], Einstein zorientował się, że spowalnia go również prędkość [P23]. Następstwa tego odkrycia dla naszego podstawowego, intuicyjnego postrzegania czasu są całkowicie druzgocące.

Samo stwierdzenie jest dość proste. Zamiast wysyłać dwoje przyjaciół z pierwszego rozdziału odpowiednio w góry i na niziny, poprośmy jednego z nich, żeby stał nieruchomo, a drugiego, żeby spacerował. Czas będzie mijał wolniej temu, który pozostaje w ruchu.

Jak poprzednio przyjaciele doświadczają różnego upływu czasu: spacerujący starzeje się wolniej, jego zegarek wolniej tyka. Ma on mniej czasu do rozmyślań, roślina, którą ze sobą zabrał, dłużej kiełkuje, i tak dalej. Wszystkiemu, co jest w ruchu, czas płynie wolniej.



Aby efekt ten stał się zauważalny, trzeba poruszać się bardzo szybko. Po raz pierwszy zmierzono go w latach siedemdziesiątych XX wieku przy użyciu synchronizowanych zegarków w samolotach [1]. Zegarek na pokładzie pokazuje czas spóźniony w stosunku do czasu na ziemi. Dziś spowalnianie czasu można zaobserwować w wielu doświadczeniach fizycznych.

Także w tym wypadku Einstein pojął zwalnianie czasu, jeszcze *zanim* dokonano pomiaru tego zjawiska – prowadząc badania nad elektromagnetyzmem, gdy miał 25 lat.

Okazało się, że wysnucie tego wniosku nie jest szczególnie karkołomne. Elektryczność i magnetyzm są dobrze opisane równaniami Maxwella. Te zawierają zwykłą zmienną czasu *t*, ale mają też interesującą własność: jeśli poruszasz się z pewną prędkością, to *dla ciebie* równania nie są już spełnione (to znaczy nie opisują tego, co mierzysz), chyba że „czasem" nazwie się inną zmienną: *t'*. [P24] Matematycy zdawali sobie sprawę z tej ciekawej własności równań Maxwella [P25], ale nikt nie rozumiał, co ona znaczy. Einstein pojął jej znaczenie: *t* to czas, który upływa, gdy się stoi w miejscu, tempo, w jakim dzieją się rzeczy nieruchome wraz ze mną; *t'* to „twój czas", tempo, w jakim dzieją się rzeczy poruszające się wraz z tobą. *t* jest czasem odmierzanym przez mój zegarek, gdy leży nieruchomo; *t'* jest czasem odmierzanym przez zegarek, który porusza się z tobą. Nikt sobie wcześniej nie wyobrażał, że czas może być różny dla zegarka

nieruchomego i poruszającego się. Einstein wyczytał to, podchodząc na serio do równań elektromagnetyzmu [P26].

Obiekt poruszający się doświadcza zatem krótszego odcinka czasu niż nieruchomy: zegarek pokazuje mniej sekund, roślina wolniej rośnie, młodzieniec mniej marzy. Dla obiektu w ruchu ^{2} czas się kurczy. Zatem nie dość, że nie ma jednego wspólnego czasu dla różnych miejsc – nie ma nawet jednego czasu dla żadnego pojedynczego miejsca. Upływ czasu można powiązać jedynie z ruchem czegoś, z jakąś trajektorią.

„Czas własny" zależy nie tylko od tego, gdzie się znajdujemy i jak blisko jakichś mas jesteśmy, ale również od prędkości, z jaką się poruszamy.

Już sam ten fakt jest dostatecznie osobliwy, ale jego skutki są całkiem nieprawdopodobne. Trzymajcie się mocno, bo zaraz startujemy.

„Teraz" nic nie znaczy

Co dzieje się „teraz" w jakimś odległym miejscu? Wyobraźmy sobie na przykład, że twoja siostra udała się na Proximę b, niedawno odkrytą planetę krążącą wokół gwiazdy około czterech lat świetlnych stąd. Co twoja siostra *teraz* robi na Proximie b?

Jedyna poprawna odpowiedź jest taka, że to pytanie nie ma sensu. To jakbyśmy zapytali „Co jest *tutaj* w Pekinie?", będąc w Wenecji. Pytanie nie ma sensu, ponieważ słowo „tutaj" wypowiedziane Wenecji wskazuje na miejsce w Wenecji, a nie w Pekinie.

Gdy twoja siostra jest z tobą w pokoju i pytamy, co *teraz* robi, odpowiedź zwykle nie nastręcza trudności; spoglądasz na nią i już wiesz. Gdy jest daleko, dzwonisz do niej i pytasz, co porabia. Ale uwaga: gdy patrzysz na siostrę, odbierasz światło biegnące od niej do twoich oczu. Światłu potrzeba trochę czasu, nim do ciebie dotrze – powiedzmy, kilka nanosekund (czyli drobny ułamek sekundy) – a zatem nie widzimy dokładnie tego, co robi *teraz*, lecz to, co robiła kilka nanosekund temu. Jeśli zaś jest w Nowym Jorku, a dzwonimy do niej z Europy, mija kilka milisekund, zanim jej głos do nas dociera – możemy więc stwierdzić, że wiemy jedynie, co robiła kilka milisekund temu.

Wydaje się, że to niewielka różnica. Jeśli jednak twoja siostra jest na Proximie b, światło potrzebuje czterech lat, by do nas dotrzeć. Gdybyśmy

więc oglądali ją przez teleskop lub otrzymali od niej wiadomość drogą radiową, dowiedzielibyśmy się raczej, co robiła cztery lata temu, a nie teraz. „Teraz” na Proximie b z pewnością nie jest tym, co u nas widać przez teleskop lub słychać przez radio.

Czy w takim razie można powiedzieć, że tym, co siostra robi *teraz*, jest to, co będzie robić po czterech latach od chwili, gdy widzimy ją obecnie w teleskopie? Nie, to też się nie sprawdza: po czterech latach od zobaczenia jej w teleskopie, według jej czasu, mogłaby zdążyć wrócić na Ziemię i być (tak! to naprawdę możliwe!) 10 lat ziemskich w przyszłości. Ale „teraz” nie może być przecież w przyszłości…

Może da się to zrobić tak: jeśli 10 lat temu siostra wyleciała na Proximę b i zabrała ze sobą kalendarz, żeby śledzić upływ czasu, czy możemy uważać, że *teraz* jest dla niej wtedy, kiedy odnotowuje upłynięcie 10 lat? Nie, to też się nie sprawdza: w ciągu 10 *jej* lat po odlocie mogła już wrócić na Ziemię, podczas gdy tutaj, na Ziemi, minęło 20 lat.

To kiedy, do diaska, jest „teraz” na Proximie b?

Prawda jest taka, że powinniśmy dać sobie spokój z zadawaniem takiego pytania [P27].

Nie ma żadnego konkretnego momentu na Proximie b, który odpowiadałby temu, co stanowi teraźniejszość na Ziemi, tu i teraz.

Drogi czytelniku, zatrzymaj się tu na chwilę w lekturze, by naprawdę dobrze oswoić się z tym wnioskiem. Moim zdaniem jest to najbardziej zdumiewająca konkluzja, do jakiej dotarliśmy w całej współczesnej fizyce.

Najzwyczajniej nie ma sensu pytanie, której chwili życia osoby na Proximie b odpowiada nasze *teraz*. To jak pytać, która drużyna piłkarska wygrała mistrzostwa w koszykówce, ile pieniędzy zarobiła jaskółka lub ile waży nuta. Są to pytania niedorzeczne, ponieważ drużyna piłkarska gra w piłkę nożną, a nie w koszykówkę, jaskółki nie zajmują się zarabianiem pieniędzy, a dźwięków nie można zważyć. Tytuł „mistrzowie świata w koszykówce” odnosi się do drużyny koszykarskiej, a nie piłkarskiej. Dochód pieniężny odnosi się do społeczeństw ludzkich, a nie do jaskółek. Pojęcie teraźniejszości tyczy się tego, co jest blisko nas, a nie daleko.

Nasza „teraźniejszość” nie rozciąga się na cały wszechświat – otacza nas raczej jak bańka.

Jak rozległa jest ta bańka? To zależy, jak precyzyjnie określamy czas. Jeśli robimy to w nanosekundach, teraźniejszość jest zdefiniowana na odległości zaledwie kilku metrów; jeśli w milisekundach, sięga tysięcy kilometrów. Ludzie z największą trudnością dostrzegają dziesiąte części sekundy, możemy więc traktować całą naszą planetę jak jedną bańkę, w której teraźniejszość uważa się za chwilę wspólną nam wszystkim. To najlepsze, co można zrobić.

Istnieje nasza przeszłość: wszystko, co się wydarzyło przed tym, czego świadkami możemy być teraz. Istnieje też nasza przyszłość: to, co wydarzy się po chwili, z której obserwujemy tu i teraz. Pomiędzy taką przeszłością i przyszłością występuje okres, który nie jest ani przeszły, ani przyszły, a mimo to ma swoją rozpiętość: piętnaście minut na Marsie, osiem lat na Proximie b, miliony lat w galaktyce Andromeda. Jest to rozszerzona teraźniejszość [P28] – bodaj największe i najdziwniejsze odkrycie Einsteina.

Wyobrażenie, że w całym wszechświecie istnieje dobrze zdefiniowane *teraz*, jest ułudą, nieuprawnionym rozciągnięciem naszego doświadczenia [P29].

Jest ono jak miejsce, w którym tęcza styka się z lasem. Myślimy, że je widzimy, ale gdy podchodzimy, by je znaleźć, już go tam nie ma.

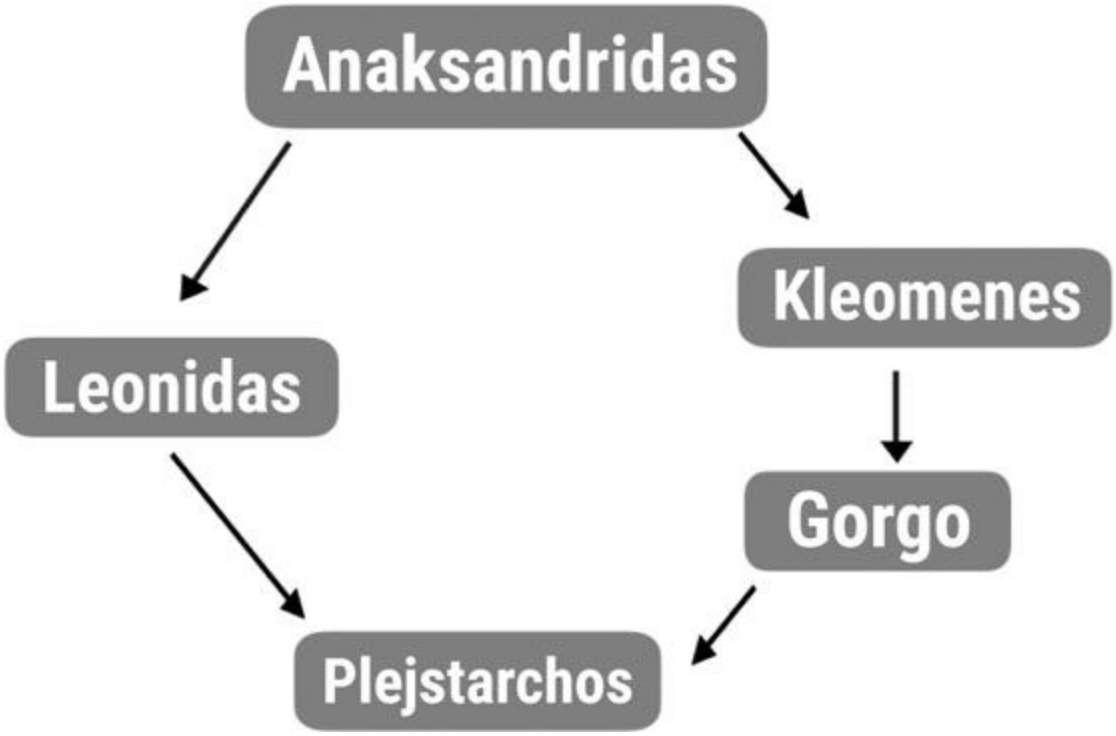
Gdybym zapytał w przestrzeni międzyplanetarnej: „Czy te dwa kamienie są na tej samej wysokości?”, poprawna odpowiedź brzmiałaby: „To pytanie jest nonsensowne, ponieważ nie ma jednego pojęcia «takiej samej wysokości» odnoszącego się do całego wszechświata”. Gdybym zapytał, czy dwa zdarzenia – jedno na Ziemi, a drugie na Proximie b – zachodzą „w tej samej chwili”, poprawną odpowiedzią byłoby: „To pytanie jest nonsensowne, ponieważ w odniesieniu do całego wszechświata nie można zdefiniować czegoś takiego, jak «ta sama chwila»”.

Pojęcie „kosmicznej teraźniejszości” nie ma sensu.

Struktura czasu bez teraźniejszości

Gorgo uratowała Grecję, zdając sobie sprawę, że przesłana z Persji tabliczka woskowa zawiera tajną wiadomość ukrytą *pod* woskiem – wiadomość, która ostrzegała Greków przed atakiem Persów. Gorgo miała syna imieniem Plejstarchos, którego spłodziła z królem Sparty, bohaterem

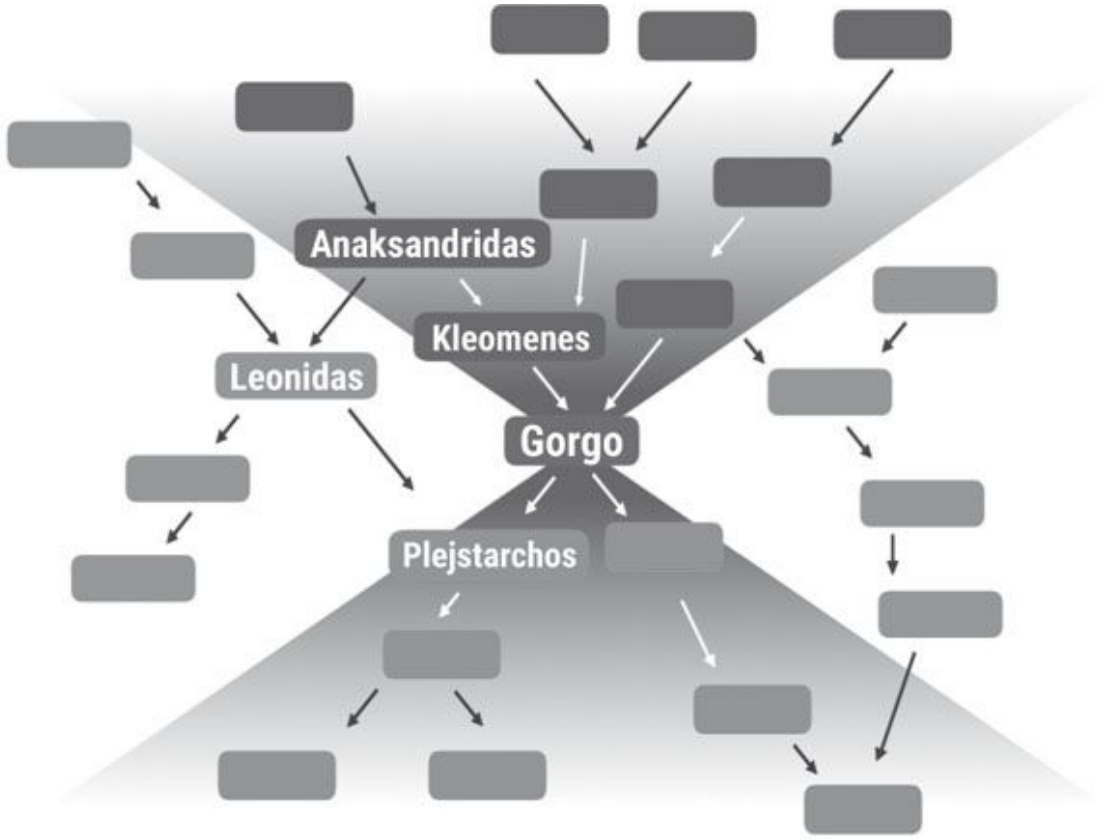
spod Termopil – Leonidasem. Leonidas był wujem Gorgo, przyrodnim bratem jej ojca, Kleomenesa. Kto należy do tego samego pokolenia co Leonidas? Gorgo, będąca matką jego syna, czy Kleomenes, będący synem jego ojca? Dla czytelników mających trudności z połapaniem się w tych relacjach genealogicznych przedstawiam diagram pokrewieństwa:



Pomiędzy pokoleniami a czasową strukturą świata istnieje analogia, która ujawnia się we względności. Nie ma sensu pytać, czy to Kleomenes czy Gorgo pochodzi „z tego samego pokolenia” co Leonidas, ponieważ nie istnieje jednoznaczne [P30] pojęcie „tego samego pokolenia”. Gdybyśmy stwierdzili, że Leonidas i jego brat należą do „tego samego pokolenia”, bo mają wspólnego ojca, oraz że Leonidas i jego żona należą do „tego samego pokolenia”, bo mają wspólnego syna, musielibyśmy stwierdzić, że „to samo pokolenie” obejmuje zarówno Gorgo, jak i jej ojca! Relacja rodzicielstwa ustala porządek pomiędzy ludźmi (Leonidas, Gorgo i Kleomenes są *po* Anaksandridasie i *przed* Plejstarchosem), ale nie pomiędzy *wszystkimi* ludźmi: Leonidas i Gorgo nie są ani przed, ani po sobie.

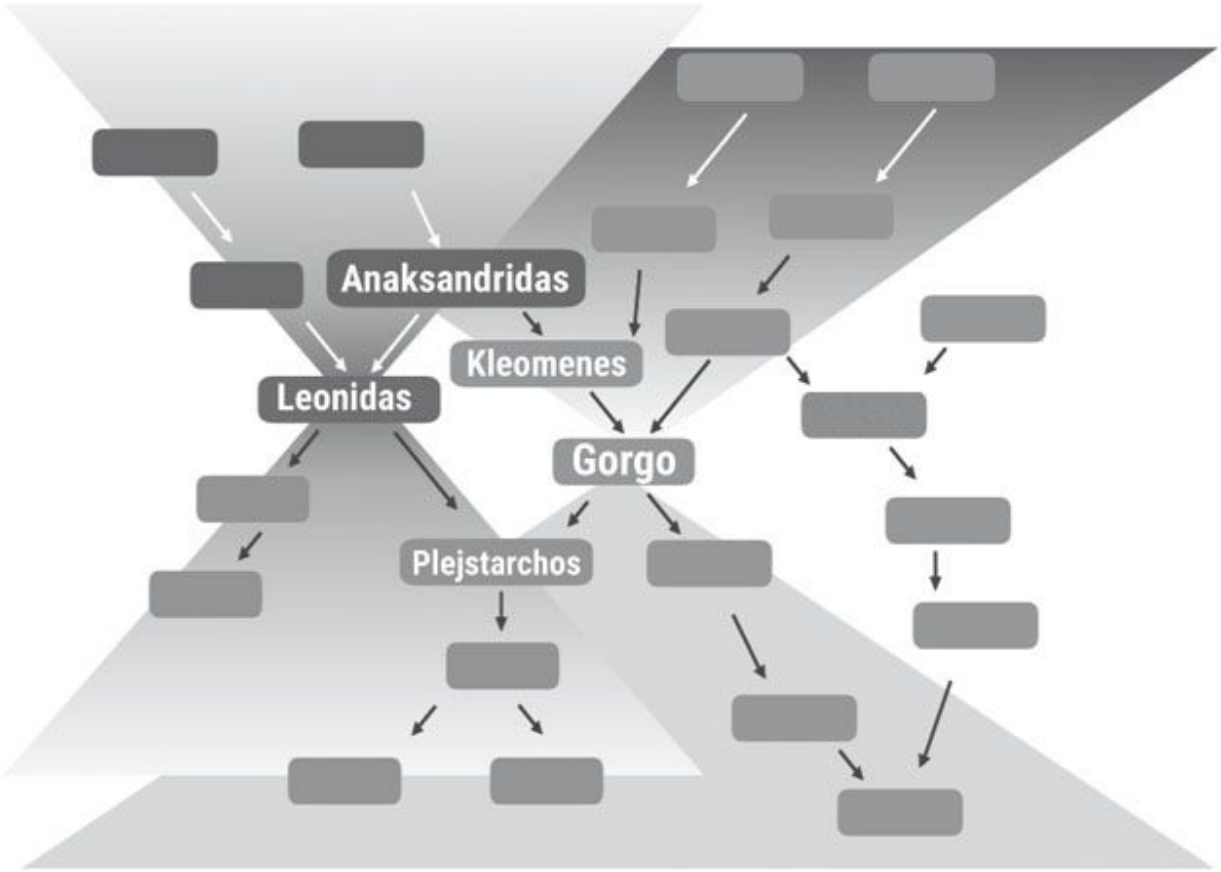
Matematycy mają nazwę na porządek określany przez rodzicielstwo: jest to porządek częściowy. Ustala on relację *przed* i *po* między pewnymi

elementami zbioru, ale nie między każdą parą. Ludzie stanowią zbiór uporządkowany przez relację rodzic–dziecko „częściowo” (a nie „całkowicie”). Relacja ta wprowadza pewien porządek (*przed* potomkami, *po* przodkach), ale nie wśród wszystkich. Żeby zobaczyć, jak przedstawia się taki porządek, wystarczy wyobrazić sobie drzewo genealogiczne Gorgo:



Widać na nim stożek „przeszłości” złożony z jej przodków oraz stożek „przyszłości” złożony z jej potomków. Ten, kto nie jest ani wstępnym, ani zstępnym, pozostaje poza stożkami.

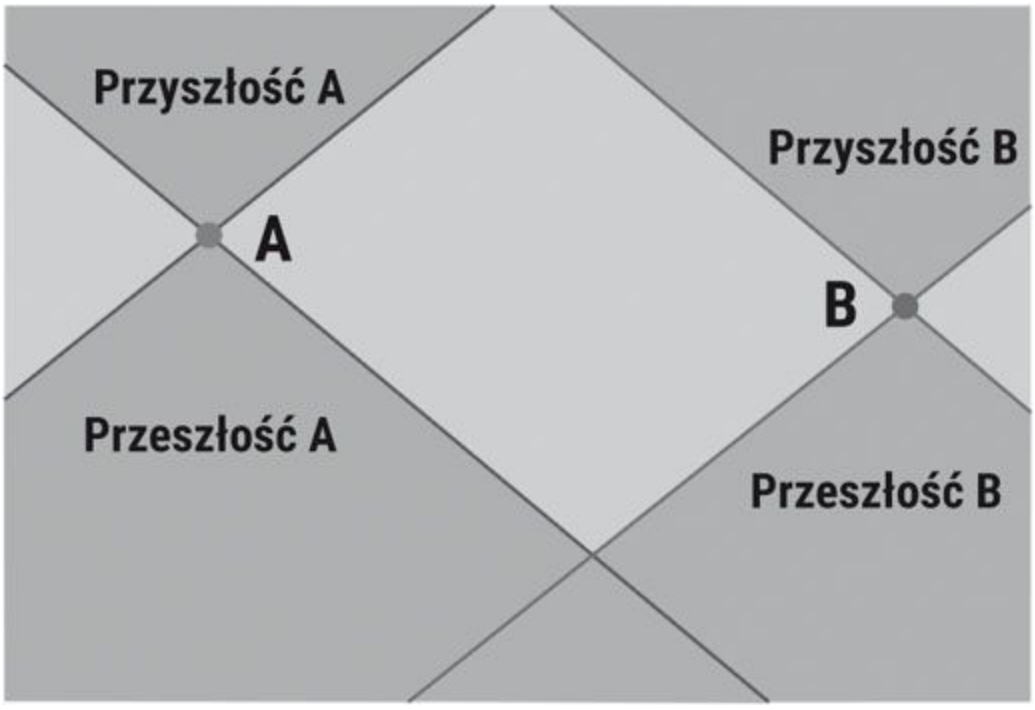
Każdy człowiek ma swój własny stożek przeszłości (przodków) oraz stożek przyszłości (potomków). Diagram poniżej przedstawia sytuację Leonidasa obok stożków Gorgo.



Bardzo podobna jest czasowa struktura wszechświata – również składa się ze stożków. Relacja „pierwszeństwa w czasie” jest porządkiem częściowym zbudowanym ze stożków [P31]. Szczególna teoria względności jest odkryciem, że czasowa struktura wszechświata jest taka, jak ta ustalona przez rodzicielstwo: określa ona w kosmosie porządek między zdarzeniami, który jest *częściowy*, a nie *zupełny.* Ta rozszerzona teraźniejszość jest zbiorem zdarzeń, które nie są ani przeszłe, ani przyszłe. Istnieją one tak samo jak ludzie, którzy nie są ani naszymi potomkami, ani przodkami.

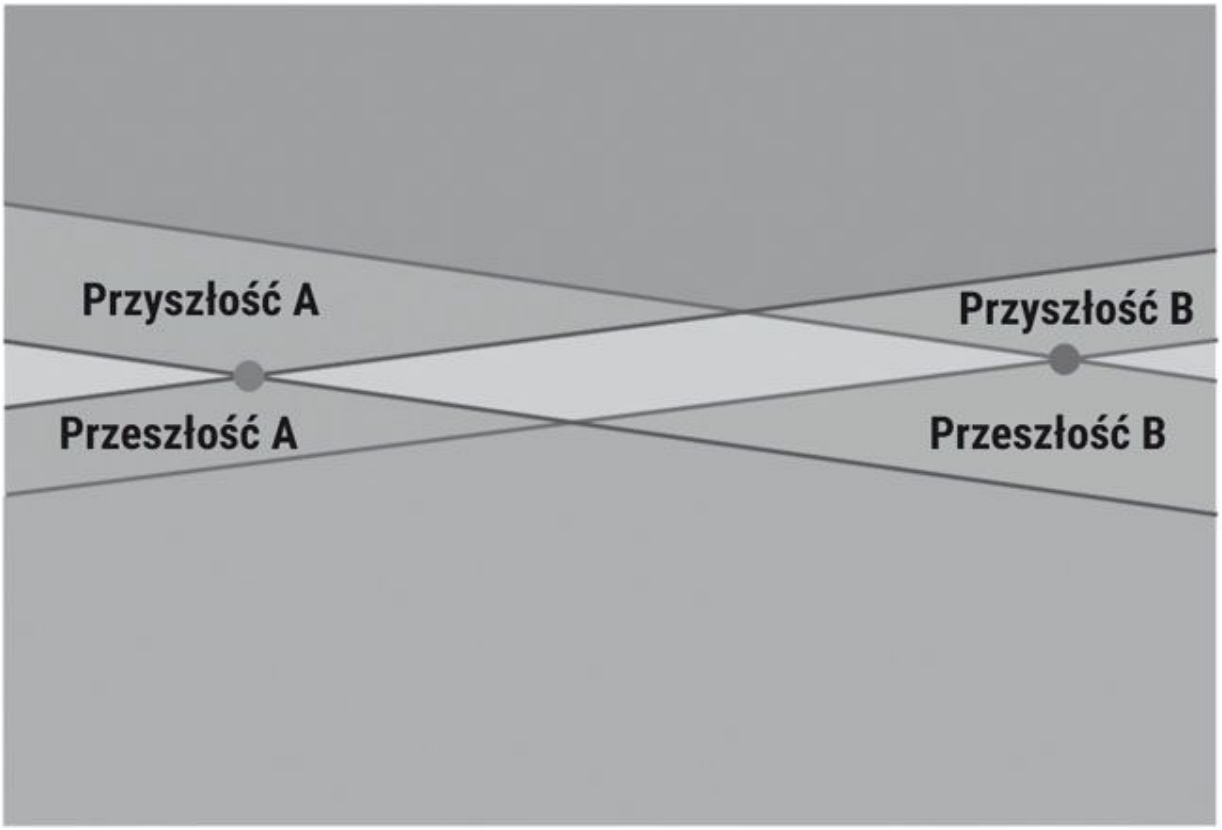
Gdybyśmy chcieli przedstawić wszystkie zdarzenia we wszechświecie wraz z ich zależnościami czasowymi, nie moglibyśmy zrobić tego za pomocą jednego, uniwersalnego rozróżnienia na przeszłość, teraźniejszość i przyszłość, takiego jak poniżej:

Zamiast tego trzeba by nad i pod każdym zdarzeniem ustawić stożek przyszłości i stożek przeszłości (fizycy mają – nie wiem skąd pochodzący – zwyczaj, by umieszczać na takich diagramach przyszłość u góry, a przeszłość u dołu, odwrotnie, niż robi się to na drzewach genealogicznych):



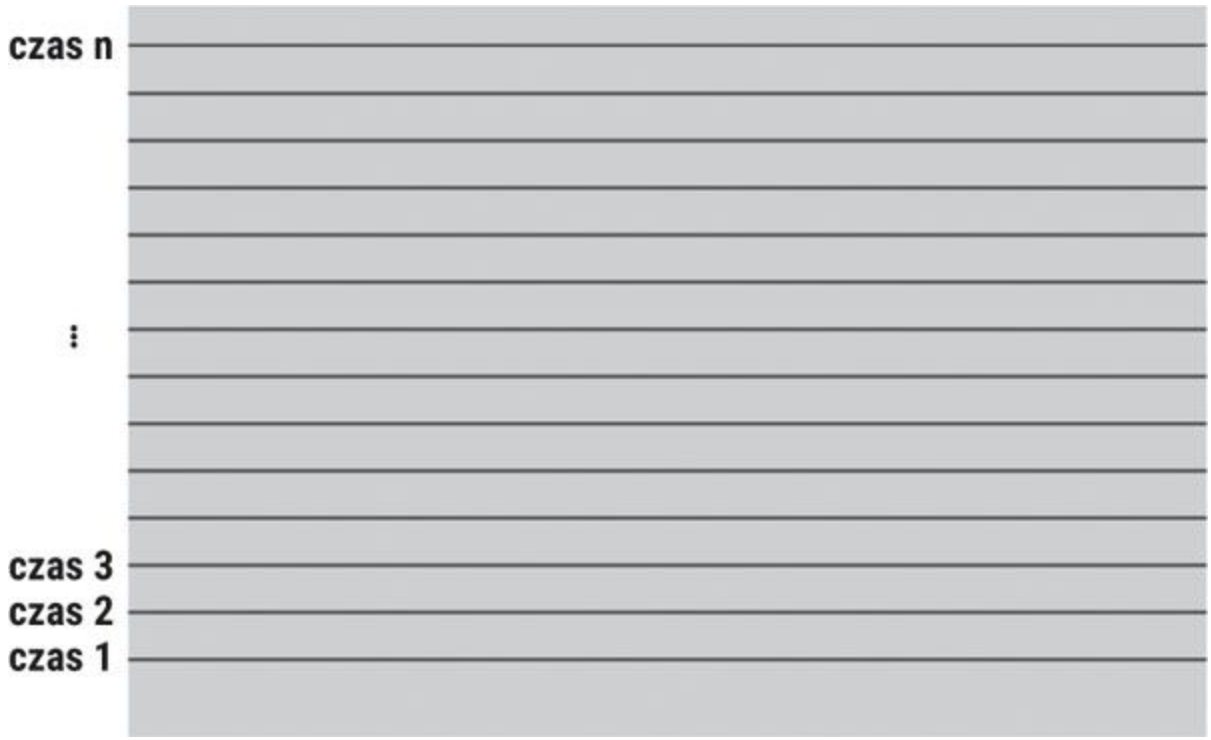
Na każde zdarzenie przypada jego przeszłość, jego przyszłość oraz część wszechświata, która nie jest ani jednym, ani drugim – tak jak każda osoba ma przodków, potomków oraz innych ludzi wokół siebie, którzy nie należą ani do jednych, ani do drugich.

Światło porusza się wzdłuż ukośnych linii, które ograniczają te stożki. Zwykło się je rysować, jak na powyższym diagramie, pod kątem 45 stopni, ale bliższe rzeczywistości byłoby kreślenie ich bardziej poziomo, jak tu:

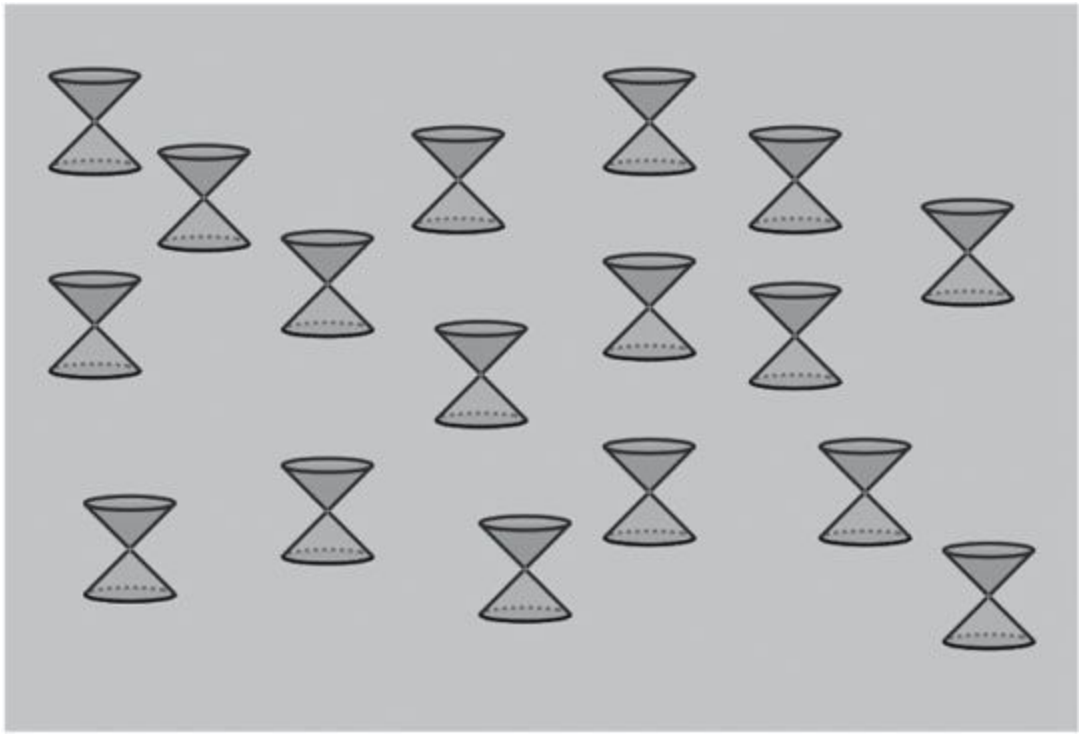


Wynika to z tego, że w skali, do której jesteśmy przyzwyczajeni, rozszerzona teraźniejszość oddzielająca naszą przeszłość od przyszłości jest niezwykle krótka (rzędu nanosekund) i niemal niezauważalna. W konsekwencji jest ona ściśnięta w cienkie, poziome pasmo, które zwykle bezkrytycznie nazywamy teraźniejszością.

Słowem, wspólna teraźniejszość nie istnieje. Temporalna struktura czasoprzestrzeni nie jest warstwowa, jak pokazano tutaj:

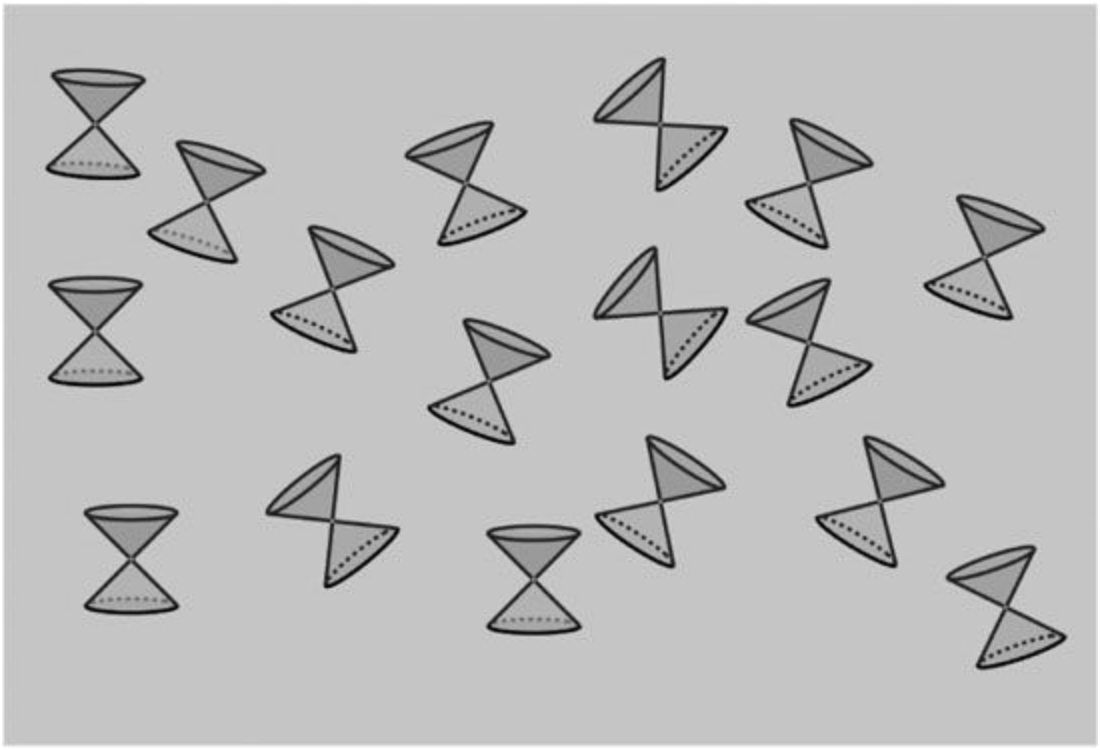


W całości składają się zaś na nią stożki świetlne:



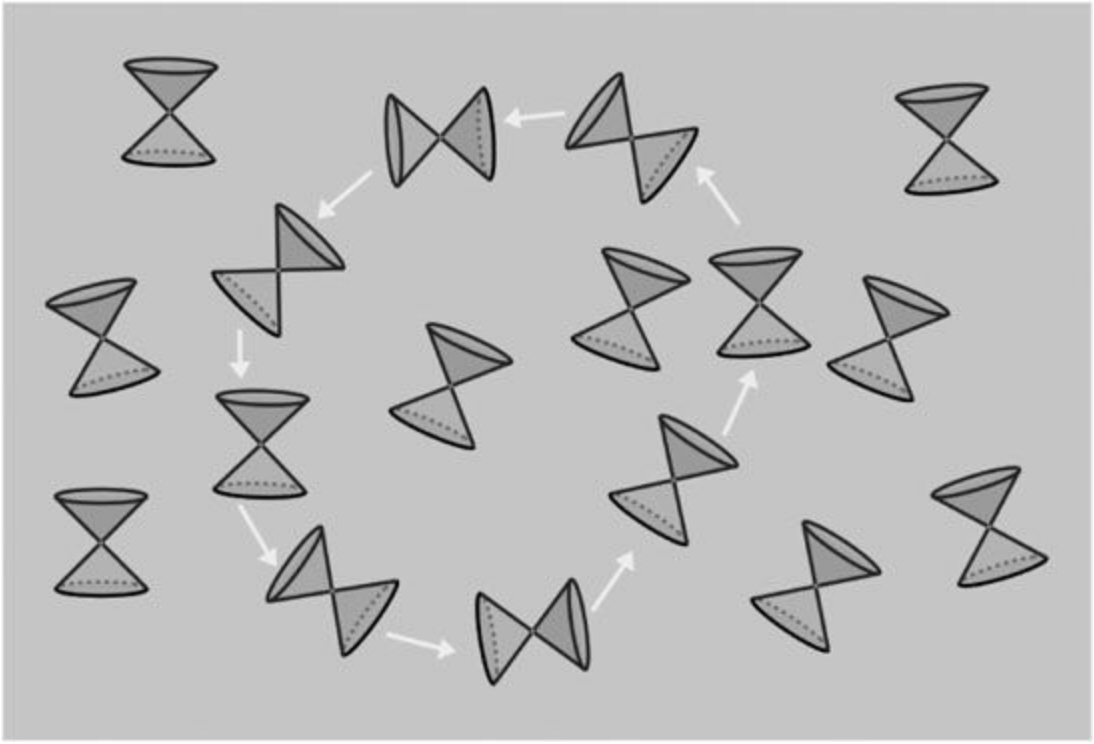
Taką właśnie strukturę czasoprzestrzeni Einstein pojął w wieku 25 lat.

Dziesięć lat później zrozumiał, że prędkość, z jaką biegnie czas, jest różna w poszczególnych miejscach. Wynika z tego, że czasoprzestrzeń w rzeczywistości nie musi być uporządkowana jak powyżej, ale może być zniekształcona. Wygląda wtedy raczej tak:



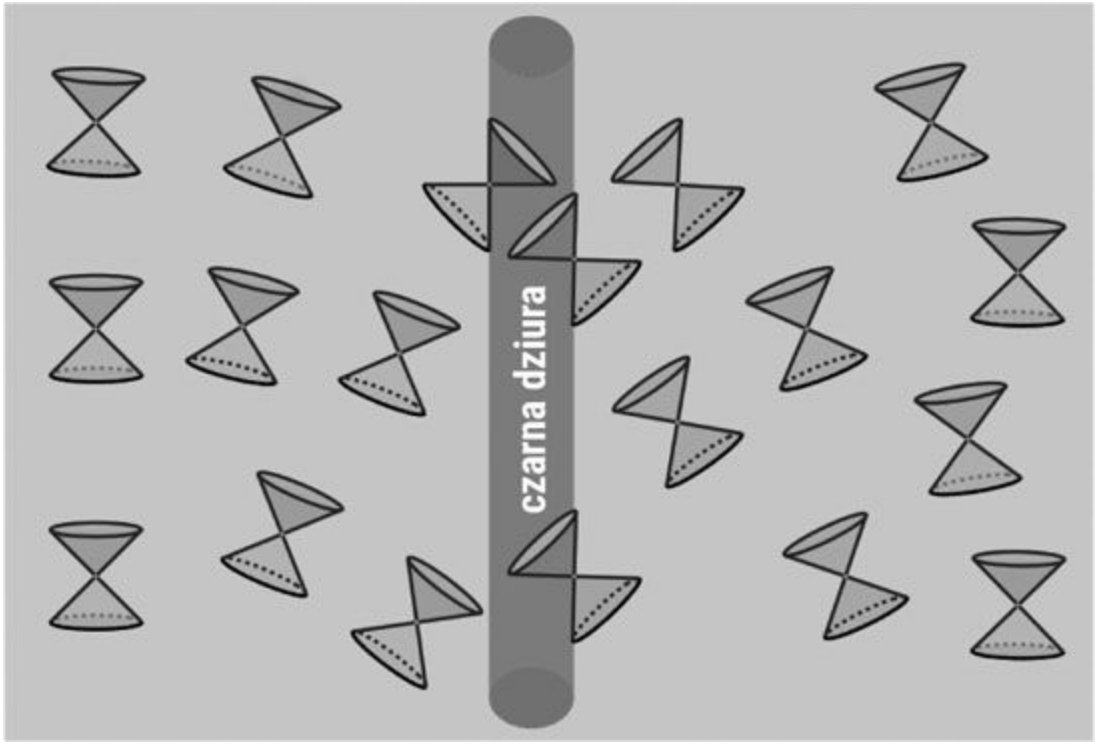
Na przykład, kiedy przechodzi fala grawitacyjna, małe stożki świetlne wspólnie drgają z lewa na prawo, jak kłosy pszenicy kołyszące się na wietrze.

Układ stożków może być nawet taki, że podążając wciąż w przyszłość, można wrócić do tego samego punktu czasoprzestrzeni, jak pokazano tu:

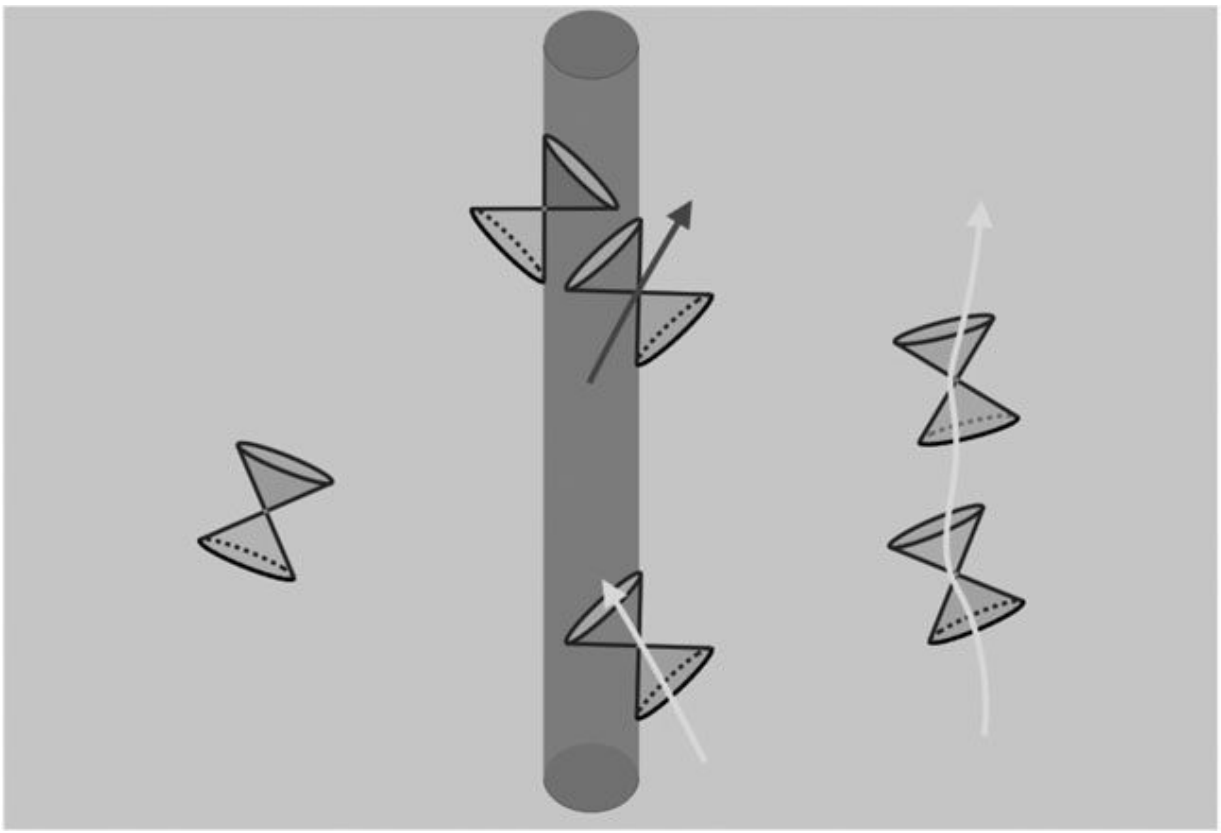


W ten sposób ciągła trajektoria skierowana ku przyszłości powraca do pierwotnego zdarzenia, w którym się rozpoczęła [3] [P32]. Pierwszym, który zdał sobie z tego sprawę, był Kurt Gödel, wielki dwudziestowieczny logik i ostatni z przyjaciół Einsteina, któremu towarzyszył na spacerach po ulicach Princeton.

W pobliżu czarnej dziury krzywe zbiegają się do niej w poniższy sposób [P33]:



Dzieje się tak, ponieważ masa czarnej dziury spowalnia czas do tego stopnia, że na jej granicy (zwanej „horyzontem zdarzeń”) czas staje w miejscu. Gdy przyjrzymy się uważnie, zobaczymy, że powierzchnia czarnej dziury jest równoległa do obrysu stożków. Żeby zatem móc wyjść z czarnej dziury, musielibyśmy poruszać się w stronę teraźniejszości (jak po czarnej trajektorii na kolejnym rysunku), a nie przyszłości!



Jest to niemożliwe. Wszystkie obiekty mogą poruszać się tylko w kierunku przyszłości, jak pokazują białe trajektorie na diagramie. Tym właśnie jest czarna dziura: nachyleniem stożków świetlnych do jej wnętrza, które wyznacza horyzont i odcina pewien obszar przestrzeni w przyszłości od wszystkiego, co go otacza. Tyle to właśnie znaczy. Czarne dziury wytwarzane są przez tę dziwną, lokalną strukturę teraźniejszości.

Upłynęło już ponad sto lat, odkąd dowiedzieliśmy się, że nie ma czegoś takiego jak „kosmiczna teraźniejszość". A jednak fakt ten wciąż nas dezorientuje i wydaje się trudny do wyobrażenia. Od czasu do czasu jakiś fizyk buntuje się i próbuje dowieść, że jest inaczej [P34]. Filozofowie nie ustają w debatach nad zniknięciem teraźniejszości. Często organizowane są konferencje poświęcone temu zagadnieniu.

Jeśli pojęcie teraźniejszości nie ma sensu, to co we wszechświecie „istnieje"? Bo czyż „istnienie" nie polega właśnie na byciu w „teraźniejszości"? Pogląd, że wszechświat istnieje w pewnej konfiguracji *teraz* i zmienia się wraz z upływem czasu, najzwyczajniej się już nie sprawdza.

1. J. C. Hafele, R. E. Keating, *Around-the-World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains*, „Science”, 177, 1972, s. 166–8. [wróć]
2. * „W ruchu” względem czego? Jak można określić, który z dwóch obiektów porusza się, skoro ruch jest względny? Ta kwestia wielu zmyliła. Poprawna odpowiedź (rzadko udzielana) brzmi: w ruchu względem *jedynego* układu odniesienia, w którym punkt przestrzeni, w którym dwa zegarki się rozdzieliły, jest tym samym punktem przestrzeni, w którym zegarki znów się spotykają. Istnieje tylko jedna prosta łącząca dwa zdarzenia, A i B, w czasoprzestrzeni; to ta, wzdłuż której czas jest maksymalny, i właśnie prędkość *względem tej linii* spowalnia czas. Jeśli zegarki rozchodzą się i nigdy więcej się nie spotykają, pytanie o to, który tyka szybciej, a który wolniej, nie ma sensu. Jeśli zaś się schodzą, można je porównać, a prędkość każdego z nich staje się dobrze zdefiniowana. [wróć]
3. „Zamknięte krzywe czasopodobne”, po których przyszłość powraca do przeszłości, wzbudzają strach wśród ludzi, którzy wyobrażają sobie, że syn mógłby zabić matkę przed własnymi narodzinami. Z zamkniętymi krzywymi czasopodobnymi, czyli podróżami w przeszłość, nie wiąże się jednak żadna logiczna sprzeczność. To my komplikujemy sprawy, gubiąc się w fantazjach o domniemanej swobodzie przyszłości. [wróć]

Rozdział 4

Utrata niezależności

Na tej to fali przyjdzie
żeglować nam wszystkim,
którzy posilamy się
owocami Ziemi. (II, 14)

Co się dzieje, gdy nic się nie dzieje?

Wystarczy zaledwie kilka mikrogramów LSD, żeby nasze doświadczanie czasu rozszerzyło się do skali niebywałej, wręcz magicznej [P35]. „Jak długo trwa zawsze?" – pyta Alicja. Biały Królik odpowiada: „Czasem tylko sekundę". Są sny trwające krótką chwilę, a w których wszystko wydaje się zastygłe na wieczność [P36]. W naszym subiektywnym odczuciu czas jest rozciągliwy. Godziny potrafią zlatywać jak minuty, a minuty bywają dręcząco powolne, jakby ciągnęły się wiekami. Z jednej strony strukturę czasowi nadaje kalendarz liturgiczny: Wielkanoc następuje po Wielkim Poście, a Wielki Post po Bożym Narodzeniu; Ramadan zaczyna się Hilalem, a kończy na Id al-Fitr. Z drugiej strony każde doświadczenie mistyczne, takie jak święta chwila konsekracji hostii, wynosi wiernych poza obręb czasu, daje im dotknąć wieczności. Jakże więc, u licha, wbiliśmy sobie do głów – zanim Einstein powiedział nam, że to nieprawda – że czas wszędzie biegnie tak samo? Z pewnością nie bezpośrednie *doświadczenie* upływania czasu podsunęło nam myśl, że dzieje się to zawsze i wszędzie w tym samym tempie. Skąd więc przyszło nam to do głowy?

Od wieków *dzielimy* czas na dni. Słowo „czas" w językach germańskich, w tym angielskie *time*, pochodzi od praindoeuropejskiego rdzenia *di* lub *dai*, znaczącego „dzielić". Od stuleci dzielimy dni na godziny [P37]. Jednakże przez większość z tych stuleci godziny były dłuższe latem, a krótsze zimą,

ponieważ dwanaście godzin dzieliło równo czas od świtu do zmroku: pierwsza godzina zaczynała się o brzasku, a dwunasta kończyła o zmierzchu bez względu na porę roku, jak czytamy w przypowieści o robotnikach w winnicy z Ewangelii wg św. Mateusza [P38]. Skoro, jak byśmy dziś powiedzieli, latem upływa od świtu do zmierzchu „więcej czasu” niż zimą, w lecie godziny dnia były dłuższe, a w zimie krótsze.

Już w starożytności w basenie Morza Śródziemnego i w Chinach istniały zegary słoneczne, klepsydry i zegary wodne, nie odgrywały jednak tej bezwzględnej roli, jaką współcześnie przyjęły zegarki organizujące nam życie. Dopiero w czternastowiecznej Europie zegary mechaniczne zaczęły regulować życie ludzi. W miastach i wsiach budowano kościoły, obok wznoszono dzwonnice, a w nich umieszczano zegary odmierzające rytm zbiorowych czynności. Zaczęła się epoka czasu odliczanego przez zegary.

Stopniowo czas wyślizgiwał się z uścisku aniołów prosto w ręce matematyków, jak to obrazowo ukazano w strasburskiej katedrze, na której dwa zegary słoneczne zwieńczone są odpowiednio postacią anioła (inspirowaną wcześniejszymi, XIII-wiecznymi zegarami słonecznymi) oraz matematyka (nad zegarem wstawionym tam w XV wieku).

Użyteczność zegarów ma wynikać z tego, że wskazują one tę samą godzinę. Również ten pogląd jest jednak bardziej współczesny, niż może nam się wydawać. Przez długie stulecia – dopóki podróżowano konno, na piechotę lub powozami – nie było powodu synchronizować zegarów pomiędzy różnymi miejscami. Był za to dobry powód, żeby tego *nie* robić. Południe jest z definicji wtedy, gdy słońce znajduje się w najwyższym punkcie na niebie. W każdym mieście i wsi był zegar słoneczny wskazujący chwilę przejścia słońca przez ten punkt, co pozwalało regulować zegar na wieży dzwonniczej, z którego każdy mógł odczytać godzinę. Słońce jednak nie góruje w tym samym momencie w Lecce, co w Wenecji, Florencji czy Turynie, bo wędruje ze wschodu na zachód. Południe następuje najpierw w Wenecji, a znacznie później w Turynie, toteż przez wieki zegary weneckie były nastawione dobre pół godziny do przodu względem turyńskich. Każda miejscowość miała swoją własną „godzinę”. A dworzec kolejowy w Paryżu miał własną godzinę, nieco późniejszą niż reszta miasta w swoistym geście uprzejmości wobec spóźnialskich podróżnych [P39].

W XIX wieku pojawił się telegraf oraz rozpowszechniły się i przyspieszyły połączenia kolejowe, a w konsekwencji powstał problem właściwej synchronizacji zegarów różnych miast. Sporządzanie rozkładów jazdy jest kłopotliwe, gdy na każdej stacji inaczej odmierza się czas. Pierwszą próbę ustandaryzowania czasu podjęto w Stanach Zjednoczonych. Z początku zaproponowano, aby ustalić uniwersalny czas dla całego świata, to znaczy na przykład nazywać godziną dwunastą chwilę, w której południe jest *w Londynie* – południe wypadałoby więc o 12.00 w Londynie i około 18.00 w Nowym Jorku. Propozycja ta nie spotkała się z ciepłym przyjęciem, ponieważ ludzie są przywiązani do czasu miejscowego. W 1883 roku osiągnięto kompromis, zgodnie z którym podzielono Ziemię na strefy czasowe, ujednolicając czas jedynie w obrębie każdej z nich z osobna. W ten sposób rozbieżność pomiędzy godziną dwunastą, a południem słonecznym w danym miejscu została ograniczona do maksymalnie 30 minut. Reszta świata stopniowo przyjmowała to rozwiązanie i zegary w różnych miastach zaczęto synchronizować [P40].

Trudno uznać to za czysty przypadek, że przed otrzymaniem posady uniwersyteckiej młody Einstein pracował w szwajcarskim Urzędzie Patentowym, gdzie zajmował się w szczególności patentami związanymi z synchronizacją zegarów na stacjach kolejowych. Prawdopodobnie to tam zaświtało mu, że problem synchronizacji zegarów jest w istocie nierozwiązywalny.

Innymi słowy, upłynęło zaledwie kilka lat, odkąd uzgodniliśmy, żeby synchronizować zegary, do chwili, w której Einstein zdał sobie sprawę, że nie da się tego zrobić ściśle.

Przez tysiąclecia, aż do pojawienia się zegarów, naszym jedynym stałym sposobem odmierzania czasu była obserwacja cyklu dnia i nocy. Nadaje on rytm także życiu roślin i zwierząt – cykle dobowe są wszechobecne w przyrodzie. Są one niezbędne życiu i uważam za prawdopodobne, że odegrały kluczową rolę w samym jego powstaniu na Ziemi, ponieważ do wprowadzenia jakiegoś mechanizmu w ruch konieczne są oscylacje. Organizmy żywe pełne są różnego rodzaju zegarów – molekularnych, neuronalnych, chemicznych, hormonalnych – z których każdy jest mniej lub bardziej zestrojony z pozostałymi [P41]. Istnieją mechanizmy chemiczne

utrzymujące 24-godzinny rytm nawet na poziomie biochemii pojedynczych komórek.

Rytm dobowy stanowi podstawowe źródło naszego pojmowania czasu: noc następuje po dniu, dzień następuje po nocy. Odliczamy uderzenia tego wielkiego zegara – liczymy dni. W prastarej ludzkiej świadomości czas jest przede wszystkim odliczaniem dni.

Oprócz dni odmierzamy lata, pory roku, cykle księżyca, wychylenia wahadła, to, ile razy obróciliśmy klepsydrę. Tak tradycyjnie pojmowaliśmy czas: przez zliczanie tego, jak coś się zmienia.

O ile dobrze wiemy, Arystoteles jako pierwszy zadał sobie pytanie: „Czym jest czas?". I doszedł do następującego wniosku: czas jest pomiarem zmiany. Wszystko zmienia się nieustannie. „Czasem" nazywamy sam pomiar tego zjawiska, zliczanie takiej zmiany.

Myśl Arystotelesa jest rozsądna. Czas jest tym, do czego się odwołujemy, pytając: „kiedy?". Pytanie: „Po jak długim *czasie* wrócisz?" tłumaczy się na „Kiedy wrócisz?". Odpowiedź na pytanie „kiedy?" odnosi się do czegoś, co się wydarza. „Wrócę za trzy dni" oznacza, że od wyjazdu do powrotu słońce trzykrotnie zatoczy koło na niebie. Proste i jasne.

Jeśli więc nic się nie zmienia, jeśli nic się nie rusza, czy ustaje upływ czasu?

Arystoteles uważał, że tak. Jeśli nic się nie zmienia, to czas nie płynie – bo jest on sposobem na nasze usytuowanie się względem zmian w świecie, na nasze umiejscowienie się względem odliczania dni. Czas jest odmierzaniem zmiany [P42]: gdy nic się nie zmienia, czasu nie ma.

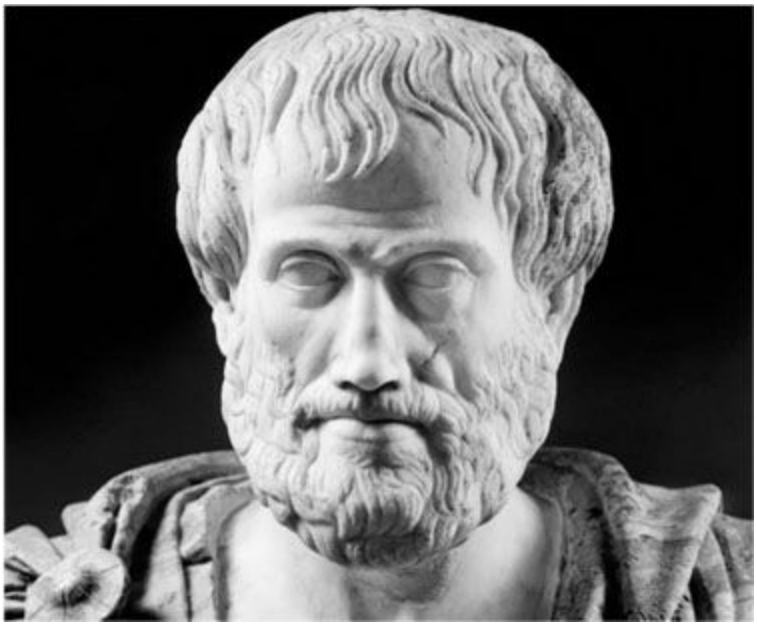
Czymże jest więc czas, którego płynący nurt słyszę w ciszy? „Bo gdyby nawet była ciemność i nie doznawalibyśmy żadnych wrażeń zmysłowych za pośrednictwem ciała – pisze w *Fizyce* Arystoteles – to skoro tylko jakiś ruch w myśli naszej powstanie, natychmiast się nam wydaje, że równocześnie jakiś czas upłynął." [P43] Innymi słowy, nawet czas, który postrzegamy jako płynący wewnątrz nas, jest miarą ruchu – wewnętrznego ruchu. Jeśli nic się nie porusza, nie ma czasu, ponieważ czas nie jest niczym innym jak odnotowaniem ruchu.

Newton natomiast zakładał coś dokładnie przeciwnego. W swym magnum opus, w *Principiach*, pisał:

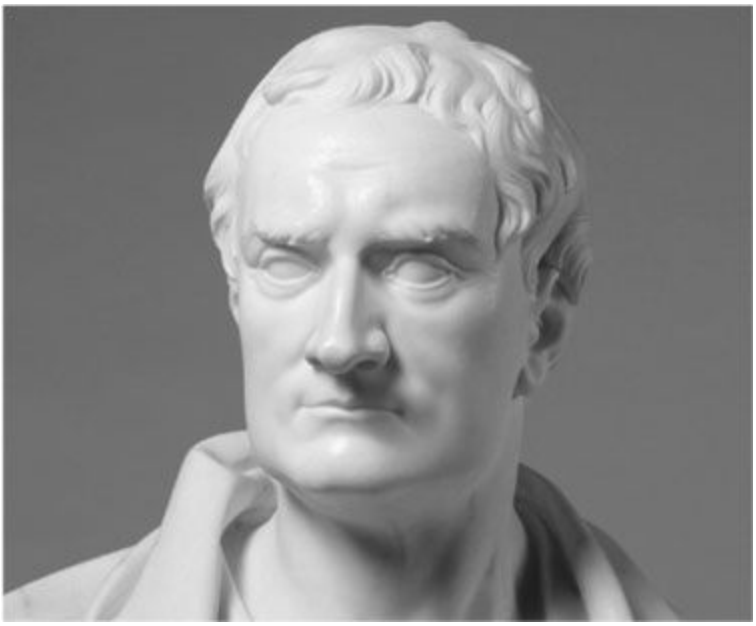
> Nie definiuję pojęć czasu, przestrzeni, miejsca i ruchu (*motum*) jako wszystkim dobrze znanych. Muszę tylko zauważyć, że zwykli ludzie pojmują te wielkości w znaczeniu wynikającym z ich relacji w stosunku do obiektów poznawanych zmysłami. Stąd pojawiają się pewne nieporozumienia, dla usunięcia których byłoby dobrze podzielić te pojęcia na bezwzględne i względne, realne i pozorne, matematyczne i potoczne [P44].

Innymi słowy, Newton uznał, że istnieje pewien rodzaj „czasu" odmierzający dni i ruchy – ten, o którym pisał Arystoteles (względny, pozorny i potoczny). Zarazem utrzymywał jednak, że poza tym musi istnieć *inny* czas, czas „realny", który płynie niezależnie i *bez względu na to*, co istnieje i się zmienia. Jeśli wszystko pozostawałoby w bezruchu i jeśli nawet nasze dusze skamieniałyby, ten czas wedle Newtona wciąż upływałby niewzruszony i równy sobie samemu – czas „realny". Jest to dokładne przeciwieństwo tego, co napisał Arystoteles.

Do „realnego" czasu, jak mówił Newton, nie mamy bezpośredniego dostępu – jedynie pośredni, przez obliczenia. Nie jest czasem odmierzanym przez dni, ponieważ „naturalne dni są w rzeczywistości niejednakowe, chociaż są zwykle uważane za jednakowe i używane jako miara czasu, to astronomowie, dla potrzeb swoich bardziej dokładnych dociekań dotyczących gwiezdnych ruchów, uwzględniają te różnice" [P45].



Arystoteles: czas to nic innego jak odmierzanie zmiany.



Newton: istnieje czas nawet wtedy, gdy nic się nie zmienia.

Kto ma rację: Arystoteles czy Newton? Dwóch spośród najbardziej rozumnych i przenikliwych badaczy natury, jakich widział świat, postuluje dwa przeciwstawne sposoby myślenia o czasie. Dwóch gigantów ciągnie nas w przeciwnych kierunkach [P46].

Czy czas jest jedynie metodą pomiaru, jak coś się zmienia – jak chciał Arystoteles – czy może powinniśmy uważać, że istnieje czas bezwzględny, płynący sam przez się, niezależnie od wszystkiego innego? Pytanie, które naprawdę powinniśmy sobie zadawać, brzmi: który z tych dwu sposobów myślenia pomaga nam lepiej zrozumieć świat? Która z tych dwu ram koncepcyjnych jest wydajniejsza?

Przez kilka wieków rozum zdawał się opowiadać po stronie Newtona. Jego model oparty na idei czasu niezależnego od innych czynników pozwolił na zbudowanie nowoczesnej fizyki – zasad, które zadziwiająco dobrze się sprawdzają. Zakłada ona, że czas istnieje jako byt, który biegnie jednostajnie i nie jest niczym zaburzany. Na jego oznaczenie w równaniach opisujących, jak coś porusza się *w czasie*, Newton wprowadzał literę *t* [P47]. Co oznacza ta litera? Czy *t* odnosi się do czasu kształtowanego przez dłuższe godziny lata i krótsze godziny zimy? Z całą pewnością nie. Odnosi

się on do czasu „bezwzględnego, realnego i matematycznego”, który – jak zakładał Newton – płynie *niezależnie od czegokolwiek, co się zmienia, lub czegokolwiek, co się rusza.*

Zegary są dla Newtona urządzeniami, które starają się – choć zawsze niedokładnie – podążać za tym równomiernym i jednorodnym upływem czasu. Pisał on, że ten „bezwzględny, realny i matematyczny” czas jest niedostrzegalny. Trzeba wywieść go, przez obliczenia i obserwacje, z regularności zjawisk. Czas Newtona nie wynika z wrażeń dostarczanych nam przez zmysły – jest elegancką konstrukcją intelektualną. Jeśli, mój Szanowny Wykształcony Czytelniku, istnienie tego Newtonowskiego pojęcia czasu niezależnego od innych czynników wydaje Ci się czymś prostym i naturalnym, jest tak, ponieważ zapoznałeś się z nim w szkole; ponieważ stopniowo stało się ono sposobem, w jaki wszyscy myślimy o czasie. Przenikało do nas przez podręczniki szkolne na całym świecie i w końcu stało się wspólnym sposobem pojmowania czasu. Stało się dla nas po prostu zdroworozsądkowe. Istnienie czasu jednorodnego, niezależnego od obiektów i ich ruchu, który *obecnie* wydaje się nam tak naturalny, nie jest odwieczną intuicją przyrodzoną człowiekowi. Jest to idea Newtona.

Większość filozofów odniosła się zresztą do niej negatywnie. We wciąż głośnej ognistej replice Leibniz bronił tradycyjnej tezy, zgodnie z którą czas jest jedynie uporządkowaniem zdarzeń, dowodząc, że nie ma czegoś takiego jak czas autonomiczny. Jak wieść niesie, Leibniz, którego nazwisko wciąż czasem zapisuje się z „t” (Leibnitz), rozmyślnie pozbył się tej litery, by pozostać w zgodzie ze swoim przekonaniem, że Newtonowski czas absolutny *t* [P48] *nie istnieje*.

Przed Newtonem czas był dla ludzkości sposobem na odmierzanie zmian. Nikt przed nim nie sądził, że może istnieć czas niezależny od wszystkiego. Nie traktujmy automatycznie swoich intuicji i myśli jako „naturalnych” – często są wytworem umysłu obrazoburczych myślicieli, którzy nas poprzedzali.

Czy zatem z tych dwu gigantów – Arystotelesa i Newtona – rzeczywiście ten drugi miał rację? Czym dokładnie jest ów „czas”, który Newton wprowadził i o którego istnieniu przekonał cały świat – czas, który

wspaniale sprawdza się w równaniach, a mimo to *nie* jest tym czasem, który postrzegamy?

Aby można było wyjść z klinczu tych dwu gigantów i znaleźć osobliwy sposób ich pojednania, musiał narodzić się trzeci. Zanim do niego jednak dojdziemy, pora na krótką dygresję o przestrzeni.

Co jest tam, gdzie nie ma nic?

Te dwie interpretacje czasu (jako miara „kiedy” w stosunku do zdarzeń, jak chciał Arystoteles, oraz jako Newtonowski byt, który upływa nawet wtedy, gdy nic się nie dzieje) można zastosować również do przestrzeni. O czasie mówimy, pytając „kiedy?”. O przestrzeni mówimy, pytając „gdzie?”. Jeśli zapytałbym, gdzie stoi Koloseum, jedną z możliwych odpowiedzi byłoby: „W Rzymie”. Gdybym zapytał, gdzie jesteś, w odpowiedzi mógłbym usłyszeć: „W domu”. Odpowiedź na pytanie, gdzie coś jest, oznacza wskazanie czegoś, *co znajduje się w pobliżu*. Gdy mówię, że jestem „na Saharze”, wyobrazicie mnie sobie otoczonego przez góry piasku.

Arystoteles jako pierwszy dogłębnie i z całą przenikliwością rozważał znaczenie „przestrzeni” czy „miejsca” i znalazł ścisłą definicję: miejsce, gdzie coś jest, znaczy tyle, co otoczenie tego czegoś [P49].

Podobnie jak w przypadku czasu, Newton zaproponował inny sposób myślenia. Zdefiniowaną przez Arystotelesa przestrzeń – wyliczenie, co znajduje się w otoczeniu czegoś – nazwał „względną, pozorną i potoczną”. Przestrzenią „bezwzględną, realną i matematyczną” określił przestrzeń samą w sobie, tę, która istnieje nawet tam, gdzie nic nie ma.

Różnica między myślą Arystotelesa a Newtona bije tu po oczach. Newton dopuszcza istnienie „pustej przestrzeni” między dwoma rzeczami; Arystoteles miałby tę „pustą przestrzeń” za absurd, ponieważ dla niego przestrzeń znaczy tyle, co przestrzenne uporządkowanie rzeczy. Jeśli tych rzeczy nie ma – nie mają rozmiaru i nie stykają się ze sobą – nie ma też przestrzeni. Newton wyobrażał sobie, że rzeczy znajdują się w „przestrzeni”, która dalej istnieje nawet wtedy, gdy jest pusta i pozbawiona jakichkolwiek obiektów. Dla Arystotelesa taka „pusta przestrzeń” jest nonsensem, bo jeśli dwie rzeczy się nie stykają, to znaczy, że pomiędzy nimi istnieje coś jeszcze, a skoro istnieje, to jest to rzeczą –

a więc pomiędzy nimi też jest jakaś rzecz. Nie jest możliwe, żeby było tam „nic”.

Ze swojej strony uważam za ciekawe, że oba te sposoby myślenia o przestrzeni wywodzą się z naszych codziennych doświadczeń. Różnica między nimi powstała w efekcie dziwacznego zbiegu okoliczności w zamieszkiwanym przez nas świecie – w efekcie lekkości powietrza, którego obecność ledwie zauważamy. Możemy powiedzieć: widzę stół, krzesło, długopis, sufit oraz że pomiędzy mną i stołem *nie ma nic.* Możemy też jednak powiedzieć, że *jest tam powietrze*. Czasami mówimy o powietrzu, jakby było czymś, a czasami, jakby było niczym. Raz, jakby tam było, innym razem nie. Zwykliśmy mówić, że szklanka jest pusta, żeby wyrazić, że jest pełna powietrza. W konsekwencji możemy myśleć, że nasze otoczenie jest „prawie puste” i gdzieniegdzie znajduje się tylko kilka obiektów lub że jest „całkowicie wypełnione” – powietrzem. W ostatecznym rozrachunku ani Arystoteles, ani Newton nie angażował się w głęboką metafizykę. Użyli oni jedynie tych dwu różnych intuicyjnych i genialnych sposobów patrzenia na świat – biorąc lub nie biorąc pod uwagę powietrza – i przekształcili je w definicje przestrzeni.

Arystoteles, jak przystało na prymusa, chciał być precyzyjny: nie mówił, że szklanka jest pusta, ale że jest pełna powietrza. Zauważył przy tym, że nigdy nie natrafiliśmy na miejsce, w którym „nie ma nic – choćby powietrza”. Newton szukał nie tyle precyzji, ile efektywności struktury pojęciowej, którą należy zbudować, aby opisać ruch obiektów – myślał o nich, a nie o powietrzu. Mimo wszystko powietrze zdaje się mieć niewielki wpływ na spadający kamień. Można sobie nawet wyobrażać, że go nie ma.

Podobnie jak w wypadku czasu, Newtonowskie pojęcie przestrzeni jako „czegoś, co zawiera w sobie wszystko”, może sprawiać wrażenie naturalnego, ale rozpowszechniło się nie tak dawno w rezultacie ogromnego wpływu myśli Newtona. To, co teraz wydaje się nam intuicyjne, jest efektem szczegółowych naukowych i filozoficznych rozważań z przeszłości.

Wydaje się, że Newtonowska idea pustej przestrzeni została potwierdzona, gdy Torricelli pokazał, że butelkę można opróżnić z powietrza. Szybko stało się jednak jasne, że wewnątrz butelki nadal pozostaje wiele fizycznych obiektów: pola elektryczne i magnetyczne oraz

bezustannie rojące się cząstki kwantowe. Istnienie całkowitej próżni pozbawionej wszelkich fizycznych bytów poza bezpostaciową przestrzenią, „bezwzględną, realną i matematyczną”, pozostaje błyskotliwą teoretyczną ideą wprowadzoną przez Newtona, aby mógł oprzeć na niej swoją fizykę – bo naukowych, eksperymentalnych dowodów na jej poparcie brak. Czy ta genialna hipoteza, bodaj najbardziej fundamentalna konstatacja sformułowana przez tego wielkiego uczonego, istotnie odpowiada rzeczywistości? Czy Newtonowska przestrzeń faktycznie istnieje? A jeśli istnieje, to czy rzeczywiście jest bezpostaciowa? Czy może istnieć miejsce, w którym nic nie istnieje?

Pytanie to jest identyczne z analogicznym, odnoszącym się do czasu: czy „bezwzględny, realny i matematyczny” czas Newtona istnieje i płynie nawet wtedy, gdy nic się nie dzieje? A jeśli istnieje, to czy całkowicie różni się od obiektów tego świata? Czy jest zupełnie od nich niezależny?

Odpowiedź na wszystkie te pytania znajdziemy w niespodziewanej syntezie pozornie sprzecznych koncepcji tych dwóch gigantów myśli. Żeby jej dokonać, do tańca musiał dołączyć trzeci [1].

Taniec trzech gigantów

Synteza czasu Arystotelesowskiego i czasu Newtonowskiego jest najcenniejszym osiągnięciem Einsteina – ukoronowaniem jego myśli.

Odpowiedzią jest to, że czas i przestrzeń, których istnienie poza dotykalną materią przeczuwał Newton, faktycznie *istnieją*. Są rzeczywiste. Czas i przestrzeń to realne zjawiska. W żadnej mierze nie są jednak absolutne; wcale nie są niezależne od tego, co się wydarza; wcale nie różnią się tak bardzo od innych substancji wszechświata, jak przedstawiał je sobie Newton. Możemy wyobrażać sobie wielkie newtonowskie płótno, na którym rysuje się historia wszechświata. Płótno to jest jednak zrobione z tego samego materiału co cała reszta świata; z tego samego materiału, z jakiego składa się kamień, światło i powietrze – z pól.

Fizycy „polami” nazywają substancje, które zgodnie z aktualnym stanem wiedzy stanowią osnowę fizycznej rzeczywistości wszechświata. Czasami nadaje się im egzotyczne nazwy: „pola Diraca” to materiał, z którego zbudowane są stoły i gwiazdy. „Pole elektromagnetyczne” to nici tworzące

światło oraz źródło sił, które pozwalają się obracać silnikom elektrycznym i igłom kompasów. Jest też jednak – i tu tkwi sedno sprawy – „pole grawitacyjne”, które jest źródłem siły ciążenia, a ponadto nadaje fakturę płótnu Newtonowskiej przestrzeni i czasu, na którym namalowana jest reszta wszechświata. Zegary to mechanizmy, które mierzą rozpiętość tego płótna. Miarki służące określaniu długości są fragmentami materii odmierzającymi inny aspekt tej rozpiętości.

Czasoprzestrzeń jest polem grawitacyjnym – a pole grawitacyjne jest czasoprzestrzenią. Czasoprzestrzeń jest czymś, co istnieje samo przez się, jak przeczuwał Newton, nawet bez materii. Ten byt nie różni się jednak od innych składników wszechświata, jak uważał Newton – jest polem jak każde inne. Świat jest nie tyle rysunkiem na płótnie, ile nakładającymi się płótnami, warstwami, z których jedną jest pole grawitacyjne. Tak jak pozostałe, pole to nie jest ani absolutne, ani jednorodne, ani raz na zawsze ustalone: napina się, rozciąga i przepycha z resztą, pcha lub przyciąga wbrew nim. Równania opisują wzajemny wpływ na siebie wszystkich tych pól – czasoprzestrzeń jest po prostu jednym z nich [2].

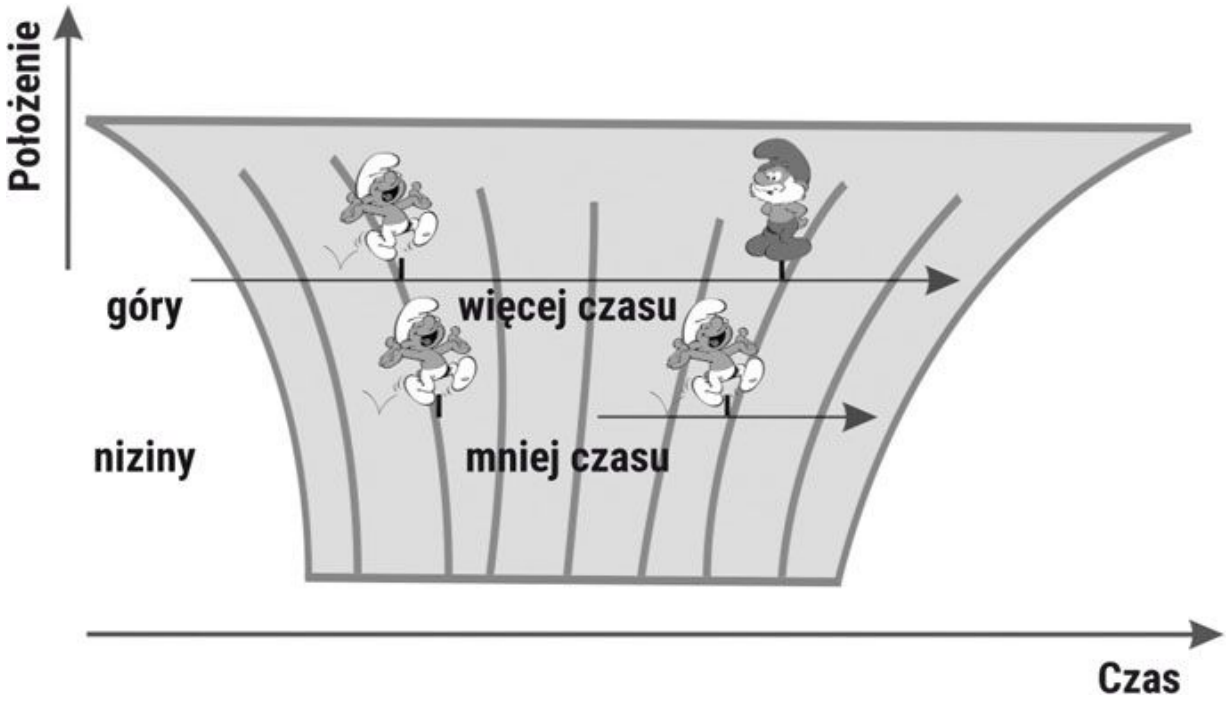
Pole grawitacyjne może być gładkie i równe jak płaszczyzna – właśnie taką jego wersję opisywał Newton. Jeśli zmierzymy je metrem, odkryjemy, że działa na nim znana nam ze szkoły geometria euklidesowa. Pole to może się jednak również pofałdować, może się kurczyć i rozciągać – nazywamy to zjawisko falami grawitacyjnymi.

Pamiętasz z rozdziału 1 zegary, które spowalniają w pobliżu masy? Dzieje się tak, ponieważ ściśle biorąc, jest tam „mniej” pola grawitacyjnego – jest tam mniej czasu.

Płótno utworzone z pola grawitacyjnego jest jak rozległa, elastyczna płachta. Jej rozciąganie i zginanie jest źródłem siły ciężkości i powodem spadania przedmiotów; wyjaśnia ono te zjawiska lepiej niż stare Newtonowskie prawo ciążenia.

Spójrzmy znów na rysunek w rozdziale 1 ilustrujący większy upływ czasu wyżej niż niżej, ale wyobraźmy sobie teraz, że kartka, na której go wydrukowano, jest elastyczna. Wyobraźmy sobie rozciąganie tego rysunku w taki sposób, że czas w górach zostaje wydłużony. Otrzymamy taki obrazek jak poniżej, który przedstawia przestrzeń (na osi pionowej) i czas

(na osi poziomej) – teraz jednak „dłuższy” czas w górach faktycznie odpowiada dłuższemu odcinkowi na wykresie.



Rysunek ten przedstawia to, co fizycy nazywają „zakrzywioną” czasoprzestrzenią. Zakrzywioną, ponieważ jest ona odkształcona: odległości wydłużają się lub skracają, jak gdyby rozciągało się elastyczną płachtę. Właśnie dlatego na diagramach w rozdziale 3 stożki świetlne były nachylone.

Czas staje się więc częścią złożonej geometrii splecionej z geometrią przestrzeni. To jest synteza Arystotelesowskiego i Newtonowskiego pojęcia czasu, której dokonał Einstein. Wzbiwszy się na skrzydłach swego geniuszu, zrozumiał, że rację mieli *zarówno* Arystoteles, *jak i* Newton. Newton prawidłowo przeczuwał, że obok zwykłych rzeczy, które poruszają się i zmieniają wokół nas, istnieje coś jeszcze. Prawdziwy, matematyczny czas Newtonowski istnieje, jest realnym bytem: polem grawitacyjnym, elastyczną płachtą, zakrzywioną czasoprzestrzenią z diagramu. Newton nie miał jednak racji, zakładając, że czas jest niezależny od świata rzeczy – że płynie w regularnym rytmie, niezaburzonym i osobnym od wszystkiego innego.

W tej kwestii słuszność miał Arystoteles, mówiąc, że „kiedy” i „gdzie” zawsze usytuowane są w odniesieniu do czegoś. Tym czymś może być jednak również samo pole, czasoprzestrzenny byt Einsteina, ponieważ jest on czymś dynamicznym i konkretnym, jak wszystko to, względem czego – jak trafnie wskazał Arystoteles – jesteśmy w stanie się umiejscowić.

Cały ten obraz jest zupełnie spójny, a równania Einsteina opisujące odkształcenia pola grawitacyjnego i jego wpływ na zegary i miary były wielokrotnie przez ponad sto lat potwierdzane eksperymentalnie. Nasze pojęcie czasu straciło jednak kolejną składową: domniemaną niezależność od reszty świata.

Wspólny taniec tych trzech gigantów intelektu – Arystotelesa, Newtona i Einsteina – zaprowadził nas ku głębszemu zrozumieniu czasu i przestrzeni. Istnieje pewna struktura rzeczywistości będąca polem grawitacyjnym; nie jest ono osobne od reszty świata fizyki ani nie jest sceną, na której rozgrywa się świat. Jest dynamicznym składnikiem wielkiego tańca wszechświata, podobnym do wszystkich jego pozostałych składników, oddziałującym z nimi, nadającym rytm przedmiotom, które nazywamy miarkami i zegarami, oraz wszystkim zjawiskom fizycznym.

Zwycięstwo nigdy nie trwa jednak długo, nawet wielkie zwycięstwo. Einstein napisał równania pola grawitacyjnego w 1915 roku i zaledwie rok później sam zauważył, że nie może to być ostatnie słowo w odniesieniu do natury czasu i przestrzeni, ponieważ jest jeszcze mechanika kwantowa. Pole grawitacyjne, jak wszystkie obiekty fizyczne, musi mieć własności kwantowe.

1. Spotykam się czasem z krytycznymi opiniami, że przedstawiam historię nauki tak, jakby była dziełem myśli kilku błyskotliwych umysłów, a nie mrówczej pracy wielu pokoleń. Z pokorą przyjmuję ten zarzut i przepraszam pokolenia, które wykonały i wykonują niezbędną pracę. Usprawiedliwia mnie tylko to, że nie usiłuję dokonać drobiazgowej analizy historycznej ani nie używam tu naukowej metodologii. Podsumowuję jedynie kilka decydujących kroków. Aby powstały freski na sklepieniu Kaplicy Sykstyńskiej, potrzeba było powolnych technicznych, kulturowych i artystycznych postępów czynionych za sprawą warsztatów niezliczonych malarzy i rzemieślników. W ostatecznym rozrachunku freski te są jednak dziełem Michała Anioła. [wróć]
2. Do tego wniosku doprowadziła Einsteina długa droga. Nie zakończyła się na zapisaniu równań pola w 1915 roku, lecz wiła się dalej wśród prób zrozumienia ich fizycznego sensu. W konsekwencji Einstein wielokrotnie zmieniał poglądy. Zdezorientowany był zwłaszcza tym, czy istnieją rozwiązania bez materii oraz fale grawitacyjne. Pełną jasność co do tego miał dopiero, gdy pisał ostatnie prace, w szczególności w piątym aneksie *Teoria względności i problem przestrzeni* do piątego wydania *O szczególnej i ogólnej teorii względności* (*Relativity: The Special and General Theory*, Methuen, London, 1954), który po angielsku można przeczytać na stronie http://www.relativitybook.com/resources/Einstein_space.html. Ze względu na kwestie praw autorskich w większości wydań nie ma tego aneksu. Bardziej wyczerpujące omówienie można znaleźć w rozdziale 2 mojej książki *Quantum Gravity* (Cambridge University Press, Cambridge 2004). [wróć]

Rozdział 5

Kwanty czasu

Wino z Albańskich Gór, dziewięcioletnie,
Pieni się w dzbanie. A w ogrodzie rośnie
Mnóstwo opichu – możesz z niego
wieńce
Upleść, Fillido (…).
Będziemy Idy kwietniowe święcili,
Dzień, który świta nam w środku
miesiąca
Morskiej Cyprydy.
Dzień uroczysty i świętszy mi prawie
Od moich własnych urodzin (…). (IV,
11) [P50]

Dziwny, ukształtowany przez teorię względności krajobraz fizyki, który dotychczas opisałem, staje się jeszcze bardziej obcy, gdy uwzględni się kwanty oraz kwantowe własności czasu i przestrzeni.

Poświęcony ich badaniu dział nauki nazywa się „kwantową grawitacją” i jest to dziedzina mojej własnej działalności naukowej [P51]. Nie dysponujemy jeszcze taką teorią kwantowej grawitacji, która byłaby powszechnie uznana przez środowisko naukowe lub na którą wskazywałyby wyniki doświadczalne. Znaczną część swego życia naukowego poświęciłem udziałowi w tworzeniu możliwego rozwiązania problemu *pętlowej grawitacji kwantowej* lub krócej *pętlowej grawitacji*. Nie wszyscy są zdania, że właśnie ta teoria okaże się słuszna. Na przykład moi znajomi pracujący nad teorią strun podążają innymi ścieżkami i wciąż toczy się bitwa o to, kto ma rację. To dobrze – nauka rozwija się również dzięki zażartym dysputom i prędzej czy później okaże się, która z teorii jest poprawna. Być może zresztą nie będziemy musieli czekać zbyt długo.

Niemniej w ostatnich kilku latach rozbieżność zdań w kwestii istoty czasu zmniejszyła się i wiele wniosków stało się dla większości stosunkowo jednoznacznych. Wyjaśniono to, że resztkowe rusztowanie struktury czasu z ogólnej teorii względności, zaprezentowane w poprzednim rozdziale, również rozpada się, gdy weźmie się pod uwagę kwantowość.

Czas absolutny rozsypał się na miriady czasów własnych, lecz gdy uwzględnimy kwanty, musimy przyjąć, że każdy z nich w dodatku „fluktuuje" i jest rozproszony jak chmura – oraz może przyjmować tylko takie, a nie inne wartości. Te czasy nie są już w stanie uformować się w płótno czasoprzestrzeni, o którym była mowa w poprzednich rozdziałach.

Trzema fundamentalnymi odkryciami, do których doprowadziła mechanika kwantowa, są ziarnistość, nieokreśloność oraz relacyjność zmiennych fizycznych. Każde z nich dalej burzy to, co jeszcze ostało się z naszego pojmowania czasu. Rozważmy je po kolei.

Ziarnistość

Czas mierzony przez zegar jest „skwantowany", czyli może przyjmować tylko niektóre wartości. To tak, jakby nie był ciągły, lecz miał strukturę ziarnistą.

Ziarnistość jest najbardziej charakterystyczną cechą mechaniki kwantowej, która właśnie stąd wywodzi swoją nazwę: „kwanty" to elementarne ziarna. Istnieje najmniejsza możliwa skala [P52] dla wszystkich zjawisk. Dla pola grawitacyjnego nazywa się ją skalą Plancka. Najmniejszy odcinek czasu nazywa się czasem Plancka. Jego wartość łatwo oszacować, łącząc stałe, które charakteryzują zjawiska podlegające teorii względności, grawitacji i mechanice kwantowej [P53]. Wspólnie ustalają one czas do 10^{-44} sekundy: jednej stumilionowobilionowobilionowobilionowej sekundy. To właśnie czas Plancka i w tej niewyobrażalnie małej skali ujawniają się efekty kwantowe.

Czas Plancka jest mały, o wiele mniejszy, niż mógłby zmierzyć jakikolwiek współcześnie istniejący zegar. Jest tak niezmiernie mały, że nie powinniśmy być zaskoczeni, odkrywając, że „tam w głębi", w tak maleńkiej skali, pojęcie czasu przestaje się stosować. Czemuż by miało?

Nic nie stosuje się zawsze i wszędzie. Prędzej czy później zawsze natrafiamy na coś nowego.

Ze „skwantowania” czasu wynika, że prawie żadna wartość czasu *t nie istnieje.* Gdybyśmy mogli zmierzyć długość odcinka czasu za pomocą najdokładniejszego zegara, jaki można sobie wyobrazić, zobaczylibyśmy, że pomiar przyjmuje jedynie pewne dyskretne [1], szczególne wartości. Nie można traktować rozpiętości czasowej jako czegoś ciągłego. Jest ona nieciągła – nie jak coś, co jednostajnie płynie, ale raczej w pewnym sensie przeskakuje jak kangur z jednej wartości na drugą.

Innymi słowy, istnieje *minimalny* odcinek czasu. Poniżej niego nie istnieje samo pojęcie czasu – nawet w najbardziej podstawowym znaczeniu.

Być może rzeki atramentu, który przez wieki, od Arystotelesa do Heideggera, zużyto na rozważania nad naturą „ciągłości”, wylano na próżno. Ciągłość jest jedynie techniką matematyczną służącą przybliżaniu bardzo drobnoziarnistych rzeczy. Na subtelnym poziomie świat jest dyskretny, a nie ciągły. Dobry Bóg nie namalował go zamaszystymi pociągnięciami pędzla, tylko delikatnie zaznaczył kropkami, jak Seurat.

Ziarnistość jest w przyrodzie wszechobecna: światło składa się z fotonów, cząstek światła. Energia elektronów w atomach może przyjmować jedynie niektóre wartości. Ziarniste jest zarówno najczystsze powietrze, jak i najgęstsza materia. Od kiedy wiadomo, że Newtonowski czas i przestrzeń są takimi samymi bytami fizycznymi jak wszystkie inne, naturalnie pojawia się przypuszczenie, że również one są ziarniste. Teoria potwierdza tę myśl: pętlowa grawitacja kwantowa przewiduje, że choć elementarne skoki czasowe są bardzo małe, są skończenie małe.

Myśl, że czas również może mieć ziarnisty charakter – że odcinki czasu nie mogą być nieskończenie małe – nie jest nowa. Bronił go już w VII wieku Izydor z Sewilli w swych *Etymologiach*, a w kolejnym wieku Beda Czcigodny w wymownie zatytułowanym dziele *De divisionibus temporum*, czyli „O podziałach czasu”. W XII wieku wielki filozof Majmonides pisał: „Czas składa się z atomów, czyli z wielu części, których nie da się podzielić na mniejsze z powodu tego, jak krótko trwają” [P54]. Myśl ta sięga prawdopodobnie jeszcze wcześniej, ale utrata oryginalnych tekstów Demokryta nie pozwala nam stwierdzić, czy była obecna już w klasycznym atomizmie greckim [P55]. Abstrakcyjne idee mogą o stulecia wyprzedzić

hipotezy, które znajdują zastosowanie – lub potwierdzenie – w dociekaniach naukowych.

Przestrzenną siostrą czasu Plancka jest *długość Plancka*: dolna granica długości, poniżej której samo to pojęcie traci sens. Długość Plancka wynosi około 10^{-33} centymetra, tj. jedną milionowomiliardowomiliardowomiliardowej milimetra. Jako młody człowiek, na uniwersytecie, zauroczyłem się kwestią, co dzieje się w tak niezmiernie małej skali. Na środku dużej kartki wypisałem na jaskrawoczerwono:

Powiesiłem tę kartkę w sypialni w Bolonii i postawiłem sobie za cel zrozumieć, co tam się dzieje, w tej maluteńkiej skali elementarnych kwantów czasu i przestrzeni, w której przestrzeń i czas przestają być tym, czym są. Całą resztę życia spędziłem, starając się to rozwikłać.

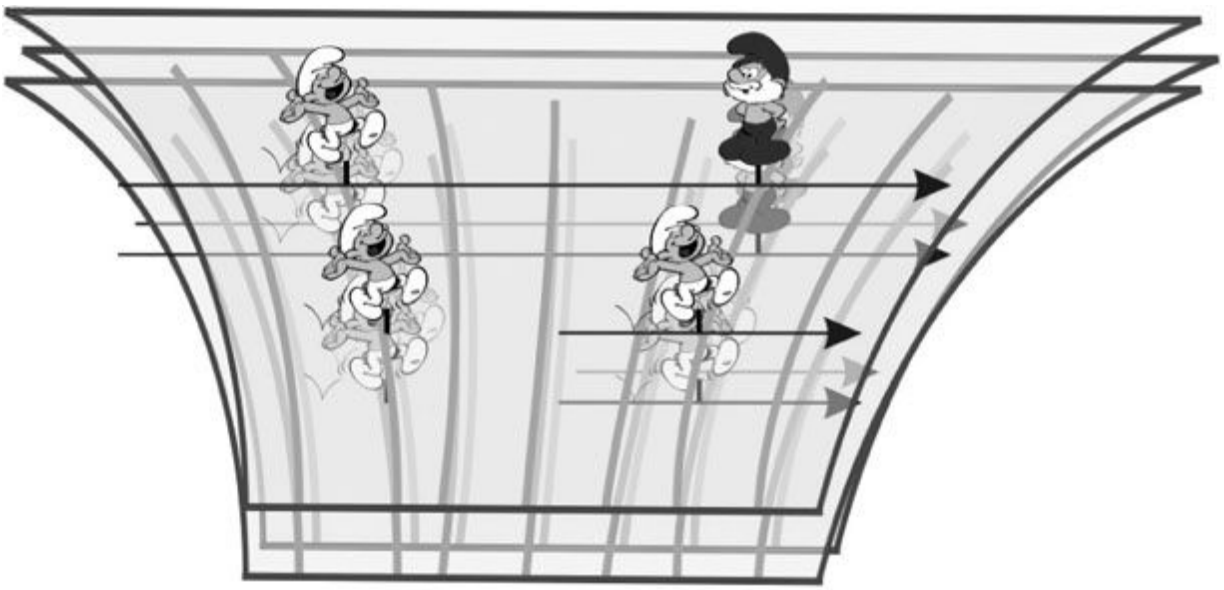
Kwantowa superpozycja czasów

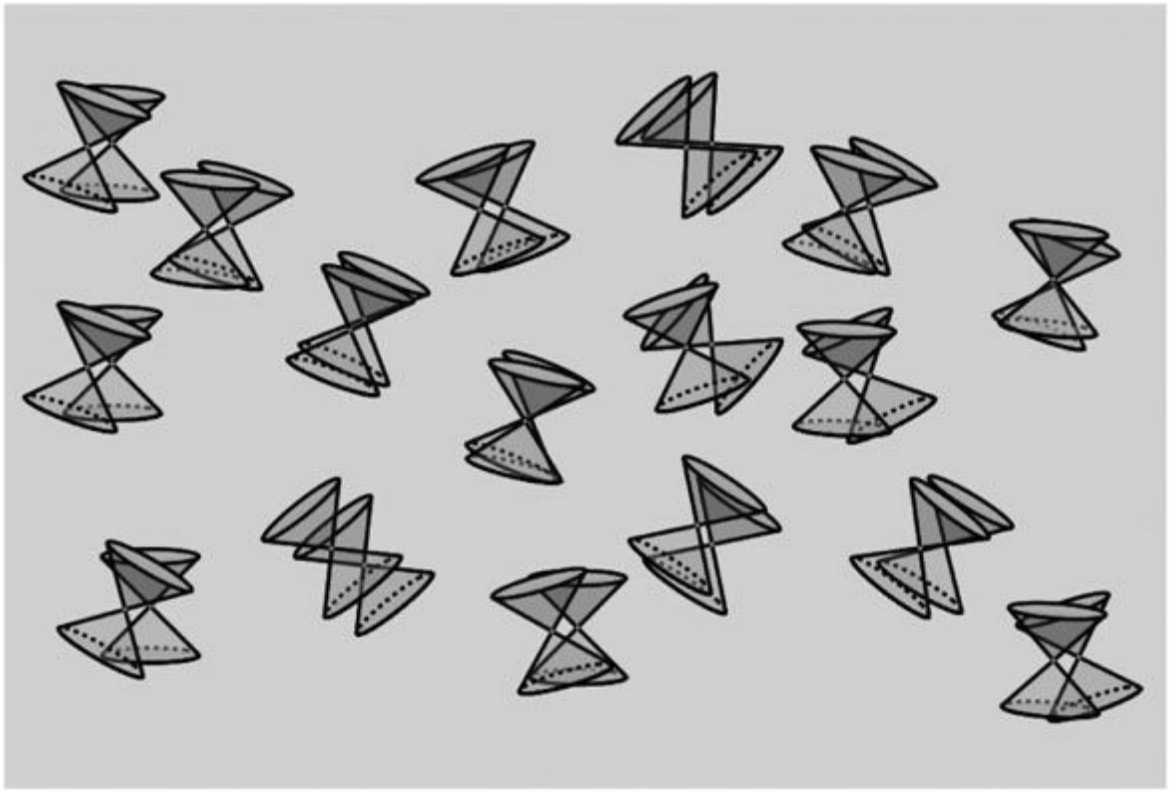
Drugim odkryciem mechaniki kwantowej jest nieokreśloność: nie jest możliwe dokładne przewidzenie na przykład tego, gdzie jutro pojawi się elektron. Pomiędzy jednym a drugim jego pojawieniem się elektron nie ma określonego położenia [P56], jakby rozpraszał się w obłok prawdopodobieństwa. W żargonie fizycznym mówimy, że znajduje się w „superpozycji” (czyli nałożeniu) położeń.

Czasoprzestrzeń jest obiektem fizycznym tak jak elektron. Ona także fluktuuje. Ona także może znajdować się w „superpozycji” różnych konfiguracji. Po uwzględnieniu mechaniki kwantowej ilustracja rozciągniętego czasu z końca rozdziału 4 powinna zawierać rozmyte, nałożone na siebie różne czasoprzestrzenie. Wyglądałoby to mniej więcej tak jak na pierwszym rysunku na następnej stronie.

Podobnie struktura stożków świetlnych fluktuuje w każdym punkcie, który rozróżnia przeszłość, teraźniejszość i przyszłość, co pokazano na kolejnym rysunku.

Samo rozróżnienie pomiędzy teraźniejszością, przeszłością i przyszłością staje się zatem płynne, nieokreślone. Podobnie jak cząstka może być rozproszona w przestrzeni, tak fluktuować może też rozróżnienie pomiędzy przeszłością i przyszłością: jedno zdarzenie może być naraz przed i po drugim.





Relacje

„Fluktuacja” nie oznacza, że to, co się dzieje, *nigdy* nie jest określone.

Oznacza, że staje się takie jedynie w pewnych chwilach i w nieprzewidywalny sposób. Nieokreśloność zostaje rozstrzygnięta, gdy dana wielkość oddziałuje z czymś innym [2].

Przez oddziaływanie elektron materializuje się w jakimś miejscu. Na przykład zderza się z ekranem, zostaje wyłapany przez detektor cząstek lub zderza się z fotonem – przyjmując w ten sposób konkretne położenie.

Pojawia się jednak pewien ciekawy aspekt tego materializowania się elektronu: cząstka ta jest konkretna jedynie *względem* innych obiektów fizycznych, z którymi oddziałuje. Natomiast względem wszystkich pozostałych obiektów skutkiem tego oddziaływania jest tylko szerzenie się epidemii nieokreśloności. Skonkretyzowanie się zachodzi jedynie względem jakiegoś układu fizycznego – jest to moim zdaniem najbardziej rewolucyjne odkrycie mechaniki kwantowej [3 P57].

Kiedy elektron zderza się z jakimś obiektem – na przykład ekranem telewizora starego typu z lampą elektronopromieniową – chmura prawdopodobieństwa, za pomocą której go sobie przedstawiamy, „zapada się", a cząstka materializuje się w pewnym punkcie ekranu, wytwarzając jedną ze świecących plamek, które składają się na obraz telewizyjny. Dzieje się tak jednak tylko względem ekranu. W stosunku do innego obiektu elektron oraz ekran są teraz razem w superpozycji konfiguracji i jedynie w chwili kolejnego oddziaływania z tym trzecim obiektem ich wspólna chmura prawdopodobieństwa zapada się i materializuje w konkretnej konfiguracji, i tak dalej.

Trudno przyjąć do wiadomości, że elektron zachowuje się w tak niezwykły sposób. Jeszcze trudniej przyjąć to, że w ten sposób zachowują się również czas i przestrzeń. A jednak zgodnie z wszystkimi danymi empirycznymi tak właśnie funkcjonuje świat kwantowy, świat przez nas zamieszkiwany.

Fizyczne podłoże określające upływ czasu i interwały czasowe – pole grawitacyjne – nie tylko ma dynamikę, na którą wpływają masy, ale jest też obiektem kwantowym, który nie ma określonych wartości, dopóki nie oddziałuje z czymś innym. Kiedy oddziałuje, rozpiętości czasowe stają się ustalone i ziarniste jedynie wobec tego czegoś, z czym doszło do oddziaływania, dla reszty zaś wszechświata pozostają nieokreślone.

Czas rozluźnił się w sieć wzajemnych relacji, która nie trzyma się już jak zwarte płótno. Obraz fluktuujących czasoprzestrzeni (zwracam uwagę na liczbę mnogą) nałożonych jedna na drugą, materializujących się w pewnych chwilach wobec poszczególnych obiektów daje nam bardzo nieostrą perspektywę. Jest to jednakże najlepsze, czym dysponujemy do opisu tak drobnoziarnistej struktury kosmosu. Zerkamy do świata kwantowej grawitacji.

Zrekapitulujmy te głębie, w jakie daliśmy nura w pierwszej części tej książki.

Nie ma jednego czasu – są inne rozpiętości czasowe dla każdej trajektorii; czas płynie w różnym rytmie w zależności od miejsca i prędkości.

Czas nie ma zwrotu – w podstawowych równaniach opisujących wszechświat nie ma różnicy pomiędzy przeszłością a przyszłością; kierunek biegu czasu jest tylko przypadkową cechą, która pojawia się, gdy patrzymy na duże obiekty, pomijając szczegóły. W tym rozmytym obrazie wszechświat był w przeszłości w osobliwie „szczególnym" stanie.

Pojęcie „teraźniejszości" nie sprawdza się – w całym wszechświecie nie ma nic, co moglibyśmy rozsądnie nazwać „teraźniejszością".

Podłoże, które określa rozpiętość czasową, nie jest bytem niezależnym ani różnym od pozostałych, z których składa się ten świat; jest to pewien aspekt dynamicznego pola. Skacze ono, fluktuuje, materializuje się jedynie przez oddziaływanie, a poniżej pewnej minimalnej skali w ogóle nie daje się go znaleźć.

Co więc w tej sytuacji pozostaje z czasu?

> Wyrzuć swój zegarek i spróbuj zrozumieć, że czas,
> który niby chwyta, to tylko ruch wskazówek [P58]

Wejdźmy do świata bezczasowego.

1. Czyli nieciągłe, złożone z pojedynczych punktów (jak na przykład same liczby całkowite wyjęte z ciągłej osi liczbowej, tak że na przykład od 1 do 2 nie ma płynnego przejścia przez kolejne liczby rzeczywiste, tylko gwałtowny „przeskok”). Strukturami takimi zajmuje się matematyka dyskretna (przyp. tłum.). [wróć]
2. Formalny termin „pomiar”, oznaczający w tym kontekście oddziaływanie, może wprowadzać w błąd, ponieważ zdaje się sugerować, że do stworzenia rzeczywistości potrzebny jest fizyk w białym kitlu. [wróć]
3. Robię tu użytek z relacjonistycznej interpretacji mechaniki kwantowej, którą osobiście uważam za najmniej nieprzekonującą. Kolejne obserwacje, w szczególności utrata klasycznej czasoprzestrzeni spełniającej równania Einsteina, pozostają nieuzasadnione w każdej innej znanej mi interpretacji mechaniki kwantowej. [wróć]

CZĘŚĆ DRUGA

WSZECHŚWIAT BEZCZASOWY

Rozdział 6

Wszechświat składa się ze zdarzeń, a nie z rzeczy

> Panowie, krótki jest czas życia (…) A jeśli żyć, to, aby zdeptać królów.
>
> Szekspir, *Henryk IV, Część pierwsza* (V, ii, 81, 85)

Gdy Robespierre wyzwolił Francję spod panowania monarchii, europejskie ancien regime obawiały się, że rychły jest upadek cywilizacji. Gdy młodzi próbują uwalniać się od dawnego porządku rzeczy, starzy boją się, że wszystko legnie w gruzach. Europa poradziła sobie jednak wyśmienicie – nawet bez króla Francji. Świat dalej będzie się toczył, nawet bez króla Czasu.

Pomimo spustoszeń w koncepcji czasu, jakich dokonała fizyka XIX i XX wieku, pewien jego aspekt przetrwał. Odarty z szat, w które przystroiła go teoria Newtona i do których tak przywykliśmy, jaśnieje teraz znacznie wyraźniej: wszechświat to nic innego jak zmiana.

Utrata żadnego ze składników czasu (uniwersalności, kierunkowości, niezależności, teraźniejszości, ciągłości) nie stawia pod znakiem zapytania tego, że wszechświat jest siecią *zdarzeń.* Z jednej strony był czas z jego wieloma wyróżnikami, a z drugiej prosty fakt, że nic nie *jest* – tylko się zdarza.

Brak wielkości zwanej „czasem” w fundamentalnych równaniach fizycznych nie implikuje świata skamieniałego i nieruchomego. Przeciwnie, pociąga to za sobą świat wszechobecnych zmian, choć nieuporządkowanych przez Ojca Czas; świat, w którym niezliczone zdarzenia nie są koniecznie ułożone w poprawnej kolejności wzdłuż

pojedynczej Newtonowskiej osi czasu lub zgodnie z elegancką geometrią Einsteinowską. Zdarzenia we wszechświecie nie ustawiają się w zdyscyplinowaną kolejkę jak Brytyjczycy, lecz tłoczą się bezładnie jak Włosi.

Są to jednak właśnie zdarzenia: zmieniają się, zachodzą. Są rozsiane, rozproszone, nieuporządkowane, ale zachodzą – nie ma tu zastoju. Zegary tykające z różnymi szybkościami nie odmierzają jednego czasu, ale ich wskazówki zmieniają się względem pozostałych. Podstawowe równania nie zawierają zmiennej czasowej, ale zawierają wielkości, które zmieniają się względem siebie. Czas, jak wskazywał Arystoteles, jest miarą zmiany; do jej mierzenia można wybrać różne zmienne, a żadna z nich nie ma *wszystkich* własności takiego czasu, jakiego doświadczamy. Nie neguje to jednak tego, że świat jest w toku nieustannych zmian.

Cała ewolucja nauki sugerowałaby, że najlepszą gramatyką służącą myśleniu o wszechświecie jest gramatyka zmiany, a nie stałości – nie istnienia, lecz stawania się.

Możemy myśleć o świecie jako o czymś złożonym z *rzeczy*, z *substancji*, z *bytów* – z czegoś, co *jest*. A możemy też myśleć o nim, jakby składał się ze *zdarzeń*, z *dziania się*, z *procesów* – z czegoś, co *zachodzi*; czegoś, co nie „trwa”, ale podlega ustawicznemu przekształcaniu się, co nie jest stałe w czasie. Zburzenie pojęcia czasu w fizyce fundamentalnej oznacza roztrzaskanie się pierwszego z tych punktów widzenia, nie drugiego. Oznacza zdanie sobie sprawy z wszechobecnej tymczasowości, a nie zastoju w nieruchomym czasie.

Myślenie o świecie jako o zbiorze zdarzeń czy procesów pozwala nam lepiej go pojąć i opisać. To jedyny sposób zgodny z teorią względności. Wszechświat nie jest zbiorem rzeczy, lecz zdarzeń.

Różnica pomiędzy rzeczami a zdarzeniami polega na tym, że *rzeczy* utrzymują się w czasie, a *zdarzenia* mają ograniczoną rozpiętość czasową. Rzeczą *par excellence* jest kamień: można zapytać, gdzie ten kamień będzie jutro. W odróżnieniu od niego pocałunek jest zdarzeniem: nie ma sensu zadawać pytania, gdzie będzie jutro dzisiejszy pocałunek. Wszechświat złożony jest z wielu sieci pocałunków, a nie kamieni.

Podstawowe jednostki, za pomocą których pojmujemy świat, nie znajdują się w jakimś konkretnym punkcie przestrzeni. Są – jeśli w ogóle są

– umiejscowione nie tylko w *gdzie,* ale i w *kiedy.* Ich granice są wyznaczone zarówno przestrzennie, jak i czasowo – są zdarzeniami.

W zasadzie po bliższym zbadaniu nawet te najbardziej „rzeczowe” rzeczy okazują się jedynie długotrwałymi zdarzeniami. Najtwardszy kamień – w świetle tego, co wiemy z chemii, fizyki, mineralogii, geologii czy psychologii – jest w rzeczywistości złożonym drganiem pól kwantowych, chwilowym oddziaływaniem sił, procesem, któremu przez krótką chwilę udaje się zachować kształt, utrzymać się w równowadze, nim rozpadnie się znów w pył; jest krótkim rozdziałem w historii oddziaływań pierwiastków naszej planety, śladem neolitycznej ludzkości, pociskiem w rękach czeredy dzieciaków; przykładem w książce o czasie, metaforą opisującą ontologię, elementem kategoryzacji świata, która zależy bardziej od tego, jak nasze ciało jest przystosowane do postrzegania otoczenia, niż od samego postrzeganego obiektu – i tak stopniowo kamień staje się zasupłanym węzłem w kosmicznej grze zwierciadeł, która składa się na rzeczywistość. Świat jest złożony nie tyle z kamieni, ile z przelotnych dźwięków, z fal sunących po morzu.

Zresztą gdyby świat składał się z rzeczy, czym by one były? Atomami, o których już wiemy, że składają się z mniejszych cząstek? Cząstkami elementarnymi, które, jak już wiemy, są niczym więcej jak ulotnymi wzbudzeniami pola? Polami kwantowymi, o których wiemy już, że są niewiele więcej niż kodami języka, którym mówi się o oddziaływaniach i zdarzeniach? Nie da się myśleć o świecie *fizycznym* jako o czymś zrobionym z rzeczy, z bytów. To po prostu się nie sprawdza.

Sprawdza się natomiast myślenie o świecie jako o sieci zdarzeń. Prostych zdarzeń oraz bardziej złożonych, które dają się rozłożyć na kombinacje prostszych. Kilka przykładów: wojna nie jest rzeczą, lecz ciągiem wydarzeń. Burza nie jest rzeczą, lecz zbiorem zachodzących zjawisk. Obłok nad szczytem górskim nie jest rzeczą, lecz skroploną wilgocią z powietrza, którą wiatr pędzi ponad górą. Fala nie jest rzeczą, lecz ruchem wody, a woda, która się na nią składa, jest za każdym razem inna. Rodzina nie jest rzeczą, lecz zbiorem relacji, wydarzeń i uczuć. A człowiek? Oczywiście, że nie jest rzeczą; tak jak chmura nad górami jest złożonym procesem, do którego wnikają i z którego uchodzą pożywienie, informacje, światło, słowa i tak dalej. Jest węzłem węzłów w sieci związków społecznych, w sieci

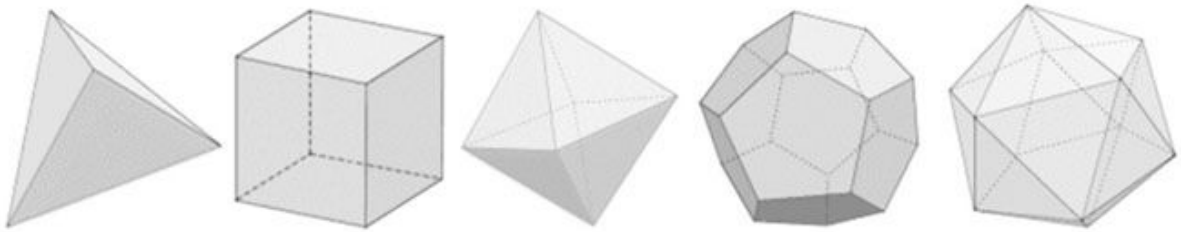
procesów chemicznych, w sieci wzajemnych emocji z innymi podobnymi mu istotami.

Długi czas próbowaliśmy rozumieć świat w kategoriach istnienia jakiejś podstawowej *substancji*. W jej poszukiwanie fizyka była zaangażowana bodaj bardziej niż jakakolwiek inna dziedzina. Jednak im gruntowniej poznajemy świat, tym mniej pojmowalny się on staje w kategoriach czegoś, co *jest*. Wydaje się o wiele zrozumialszy, gdy rozpatruje się go w kategoriach związków pomiędzy zdarzeniami.

Słowa Anaksymandra cytowane w pierwszym rozdziale niniejszej książki zachęcały nas do myślenia o świecie „w porządku czasu". Jeśli nie założymy z góry, że wiemy, *jaki* jest ten porządek czasu, czyli jeśli nie przyjmiemy a priori, że jest liniowym i uniwersalnym porządkiem, do którego przywykliśmy, wezwanie Anaksymandra pozostanie słuszne: rozumiemy świat dzięki badaniu zmian, nie rzeczy.

Ci, którzy tę dobrą radę puścili mimo uszu, zapłacili wysoką cenę. Dwoma gigantami myśli, którzy popełnili ten błąd, byli Platon i Kepler – co ciekawe, obu zwiodła ta sama matematyka.

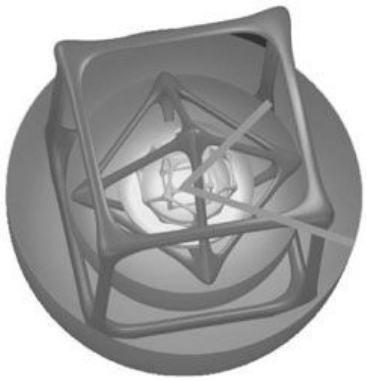
W dialogu *Timajos* Platon zaprezentował genialny pomysł przetłumaczenia na język matematyki fizycznych spostrzeżeń poczynionych przez atomistów takich jak Demokryt. Obrał jednak błędną ścieżkę: próbował przedstawić matematykę *kształtów* atomów zamiast ich *ruchów.* Dał się zafascynować twierdzeniu matematycznemu, zgodnie z którym istnieje pięć – i *tylko* pięć – wielościanów foremnych:



Usiłował potem uzasadnić śmiałą hipotezę, że są to rzeczywiste kształty atomów pięciu podstawowych substancji, z których, jak myślano w starożytności, składa się cała materia: ziemi, wody, powietrza, ognia i kwintesencji, z której zbudowane są niebiosa. Piękna idea, ale całkowicie mylna. Błąd leży w dążeniu do zrozumienia świata za pomocą rzeczy

zamiast zdarzeń. Leży w zlekceważeniu zmiany. Ta fizyka i astronomia, która będzie się sprawdzać – od Ptolemeusza do Galileusza, od Newtona do Schrödingera – będzie matematycznym opisem właśnie tego, jak coś się *zmienia*, a nie jakie *jest*. Będzie mówić o zdarzeniach, nie rzeczach. Kształty atomów zostaną ostatecznie zrozumiane jedynie za pomocą rozwiązań równań Schrödingera, opisujących, jak *poruszają się* elektrony w atomach. Znów zdarzenia, a nie rzeczy.

Stulecia później młody Kepler, jeszcze przed uzyskaniem swoich doniosłych wyników w dojrzałym wieku, popełnił ten sam błąd. Zadał sobie pytanie, co warunkuje wielkość orbit planetarnych, i dał się zwieść temu samemu twierdzeniu, które zauroczyło Platona (nie ma wątpliwości, że jest piękne). Kepler założył, że wielkości orbit są określone przez wielościany foremne: jeśli wielościany te włoży się jedne w drugie, a pomiędzy nimi umieści się sfery, to promienie tych sfer będą mieć takie wzajemne proporcje jak promienie planet.



Elegancka koncepcja, lecz zupełnie mylna. Ponownie brak w niej dynamiki. Dopiero gdy w późniejszym czasie Kepler odszedł od niej, by zmierzyć się z pytaniem, jak *poruszają się* planety, bramy niebios otwarły się.

Opisujemy więc świat, jaki się wydarza, a nie jaki jest. Mechanika Newtona, równania Maxwella, mechanika kwantowa i tak dalej mówią nam, jak *zachodzą zdarzenia*, a nie jakie *są rzeczy*. Pojmujemy biologię dzięki badaniom tego, jak organizmy żywe *ewoluują* i *żyją*. Pojmujemy psychologię (w malutkim stopniu) dzięki badaniom tego, jak wzajemnie oddziałujemy na siebie, jak myślimy… Pojmujemy świat w jego stawaniu się, a nie w byciu.

„Rzeczy” same w sobie są jedynie zdarzeniami, które przez chwilę pozostają monotonne [P59].

Jednak tylko póki nie obrócą się w proch. Bo, oczywiście, wcześniej czy później wszystko obraca się w proch.

Brak czasu nie oznacza zatem, że wszystko jest skamieniałe w bezruchu. Oznacza, że bezustanne wydarzanie się, które wyczerpuje świat, nie jest uporządkowane na osi czasu, nie jest odmierzane przez olbrzymie tykanie. Nie układa się nawet w czterowymiarową geometrię. Jest bezkresną i bezładną siecią kwantowych zdarzeń. Wszechświat bardziej przypomina Neapol niż Singapur.

Jeśli przez „czas” rozumiemy nie więcej niż wydarzanie się, wtedy wszystko jest czasem. Istnieje *wyłącznie* to, co jest w czasie.

Rozdział 7

Nieadekwatność gramatyki

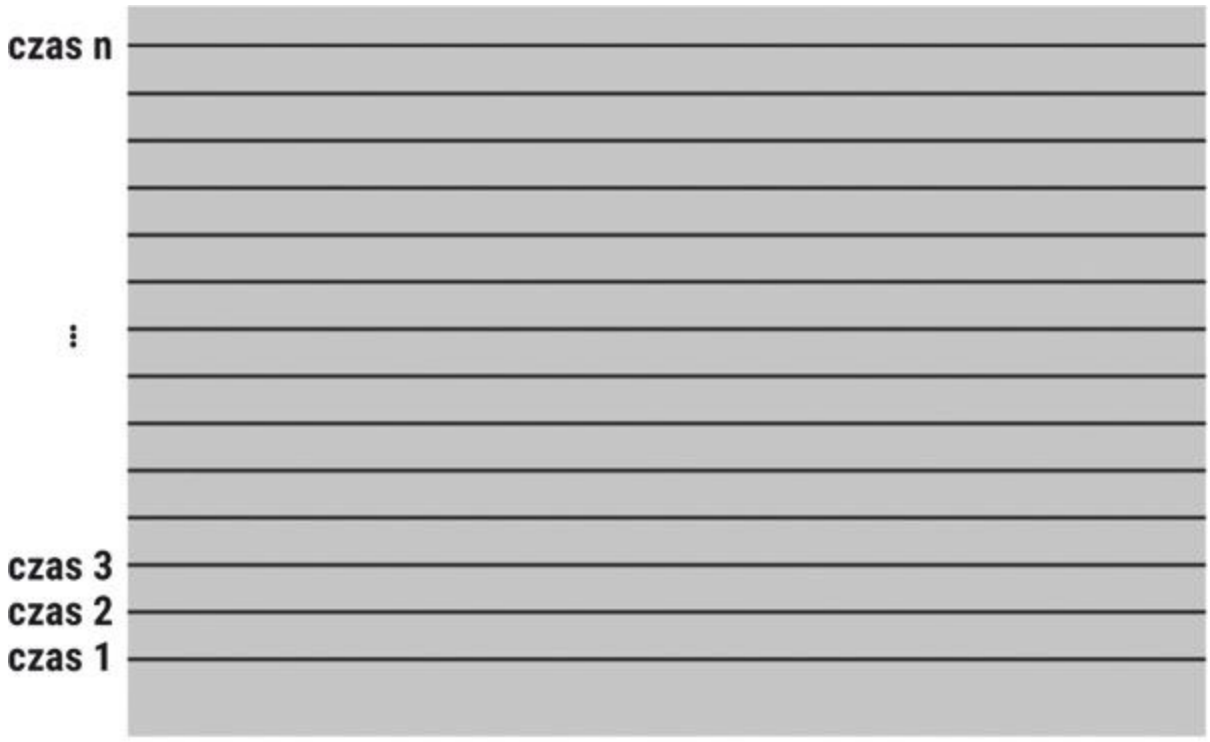
Znikły biele –
powraca zieleń
traw na łąkach,
koron drzew,
zwiewna łaska wiosny
znów jest z nami.
Tak to bieg czasu,
mijająca godzina, co kradnie nam światło,
obwieszcza, że nie ma
dla nas nieśmiertelności.
Po ciepłych wiatrach przyjdą zimne. (IV, 7)

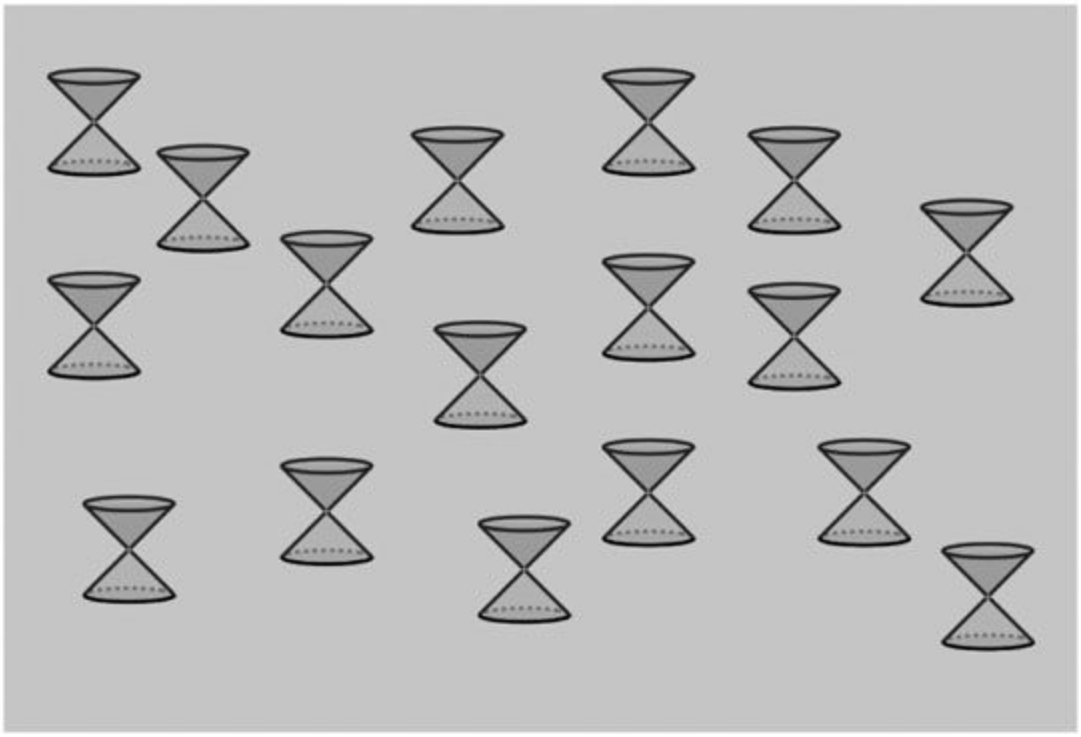
Zazwyczaj „rzeczywistymi” nazywamy te rzeczy, które istnieją w *teraz*, a nie te, które istniały kiedyś lub mogą kiedyś zaistnieć. O rzeczach z przeszłości lub przyszłości mówimy, że „były” rzeczywiste lub że „będą” rzeczywiste, ale nie, że takie „są”.

W filozofii istnieje pogląd zwany prezentyzmem, zgodnie z którym rzeczywista jest tylko teraźniejszość, a przeszłość i przyszłość nie, oraz że rzeczywistość przechodzi z jednej teraźniejszości do następnej.

Ten sposób myślenia przestaje się jednak sprawdzać, jeśli „teraźniejszość” nie jest zdefiniowana globalnie, a jedynie w naszym otoczeniu, w przybliżony sposób. Jeśli teraźniejszość daleko stąd nie jest określona, to co jest „rzeczywiste” we wszechświecie?

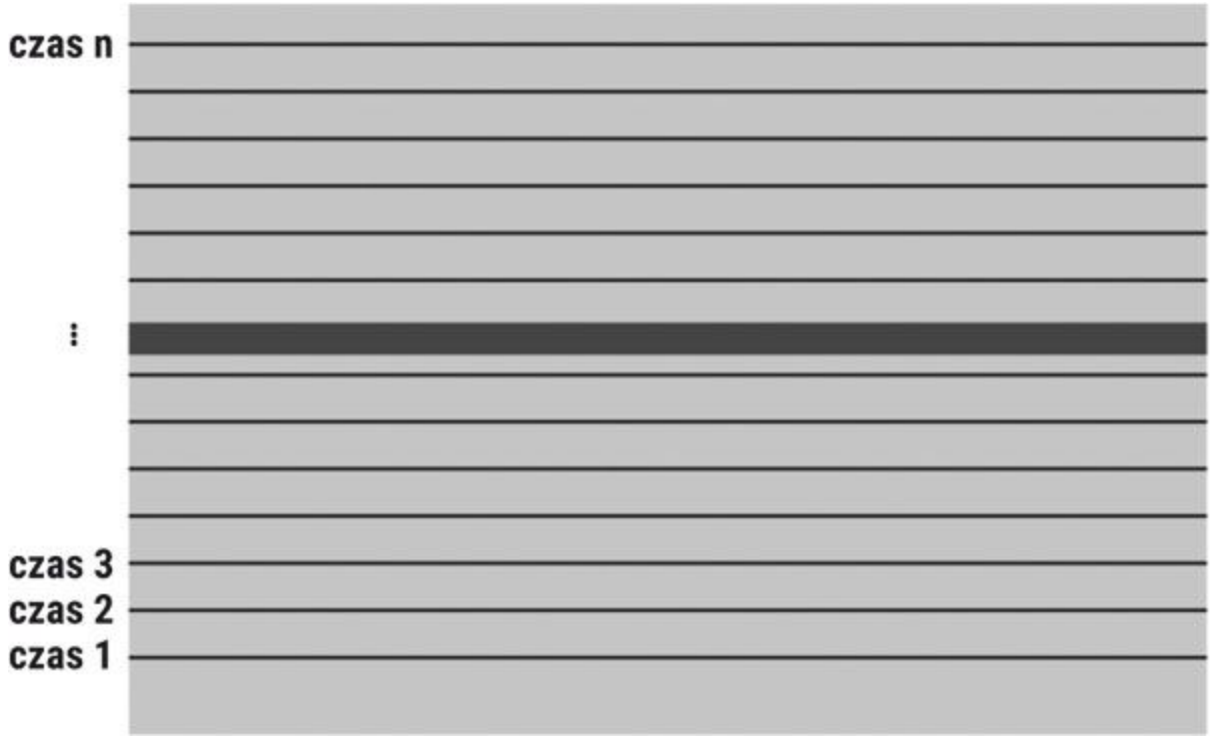
Diagramy takie jak te z poprzednich rozdziałów obrazują *całościowy rozwój czasoprzestrzeni* na jednym rysunku. Nie przedstawiają pojedynczego czasu, ale wszystkie czasy naraz:


czas n
czas 3
czas 2
czas 1



Są jak seria zdjęć biegnącego człowieka albo jak książka, która snuje opowieść dziejącą się przez wiele lat. Są schematycznym przedstawieniem możliwej *historii* świata, a nie któregoś z jego pojedynczych, chwilowych stanów.

Poniższa ilustracja pokazuje, jak zwykliśmy myśleć o czasowej strukturze wszechświata *przed* Einsteinem. Zbiór rzeczywistych zdarzeń dziejących się *teraz*, w danym momencie, wyróżniony jest pogrubioną linią:



Jednak czasową strukturę świata lepiej oddaje druga ilustracja, na której nie widać niczego, co przypominałoby teraźniejszość. Nie ma jej tam. Co jest zatem rzeczywiste *teraz*?

Dwudziestowieczna fizyka pokazuje – w sposób według mnie jednoznaczny – że nasz świat nie daje się dobrze opisać za pomocą *prezentyzmu*: obiektywna i globalna teraźniejszość nie istnieje. W najlepszym wypadku można mówić o teraźniejszości względnej wobec poruszającego się obserwatora. Wtedy jednak to, co jest rzeczywiste dla mnie, różni się od rzeczywistości kogoś innego, mimo że chcielibyśmy jak najczęściej używać tego wyrażenia w znaczeniu obiektywnym.

Wszechświata nie powinniśmy więc traktować jak ciągu kolejnych teraźniejszości [P60].

Jakie mamy inne wyjścia?

Filozofowie eternalizmem nazywają pogląd, że zmiana i upływ czasu są złudzeniem – teraźniejszość, przeszłość i przyszłość są równie rzeczywiste i istniejące. Zgodnie z eternalizmem cała czasoprzestrzeń, jak przedstawiono na powyższych diagramach, istnieje w pełni naraz i nigdy nic się w niej nie zmienia. Nic tak naprawdę nie upływa [P61].

Zwolennicy tego ujęcia rzeczywistości, eternalizmu, często przywołują słowa Einsteina, który w sławnym liście napisał:

> Dla nas, wyznawców fizyki, rozróżnienie pomiędzy przeszłością, teraźniejszością a przyszłością jest niczym innym, jak uparcie podtrzymywaną iluzją [P62].

Koncepcję tę zaczęto nazywać *wszechświatem blokowym*. Zgodnie z nią o historii wszechświata należy myśleć jako o monolicie, w całości jednakowo realnym, a przechodzenie z jednej chwili do kolejnej jest złudzeniem.

Czy zatem eternalizm, wszechświat blokowy jest jedynym pozostającym nam sposobem pojmowania świata? Czy koniecznie musimy traktować przeszłość, teraźniejszość i przyszłość świata jak pojedynczą teraźniejszość, w której wszystkie one istnieją w ten sam sposób? Czy nic się nigdy nie zmienia, wszystko pozostaje nieruchome? Czy zmiana jest jedynie złudzeniem?

Nie, wcale tak nie uważam.

To, że nie można ułożyć wszechświata w jednym uporządkowanym ciągu chwil, nie oznacza, że nic się nie zmienia. Oznacza tylko, że zmiany nie są ułożone w ten pojedynczy uporządkowany ciąg – czasowa struktura wszechświata jest bardziej złożona niż jedna prosta, liniowa seria chwil. Nie znaczy to, że nie istnieje lub jest złudzeniem [P63].

Rozróżnienie na przeszłość, teraźniejszość i przyszłość to nie złudzenie. Taką temporalną strukturę ma wszechświat. Nie jest ona jednak zgodna z prezentyzmem. Relacje czasowe pomiędzy zdarzeniami są bardziej złożone, niż wcześniej myślano, ale nie przestają z tego powodu istnieć. Związki typu rodzic-dziecko nie ustalają porządku całkowitego, ale nie sprawia to, że są iluzoryczne. Z tego, że nie stoimy wszyscy w jednym

szeregu, nie wynika, że nie ma pomiędzy nami żadnych zależności. Zmiana, to, co się wydarza – nie jest złudzeniem. Odkryliśmy natomiast, że nie układa się w porządek globalny [P64].

Wróćmy do pytania, od którego rozpoczęliśmy: Co „jest rzeczywiste”? Co „istnieje”?

Odpowiedź jest taka, że pytanie zostało źle postawione, może znaczyć wszystko i nic. Ponieważ przymiotnik „rzeczywisty” jest wieloznaczny, tyleż znaczeń ma samo pytanie. A czasownik „istnieć” ma ich jeszcze więcej. Na pytanie „Czy istnieje marionetka, której rośnie nos, gdy ona kłamie?” można odpowiedzieć: „Oczywiście, że istnieje, to Pinokio!” albo „Nie, nie istnieje. To tylko postać z bajki wymyślonej przez Collodiego”.

Obie odpowiedzi są poprawne, ponieważ odnoszą się do różnych znaczeń czasownika „istnieć”.

Jest takie multum sposobów użycia tego słowa, tyle różnych możliwości powiedzenia, że coś istnieje: prawo, kamień, naród, wojna, postać w sztuce teatralnej, bóg (lub bogowie) z obcej nam religii, Bóg z wyznawanej przez nas religii, wielka miłość, liczba… Wszystkie te rzeczy „istnieją” i „są rzeczywiste” w innych znaczeniach. Możemy zapytać, w jakim sensie coś istnieje lub nie (Pinokio istnieje jako postać literacka, ale takiej osoby nie ma w spisach żadnego włoskiego urzędu stanu cywilnego) lub czy coś istnieje w określony sposób (czy istnieje zasada w szachach, która zabrania wykonania roszady, jeśli ruszyło się już wieżą?). Ogólne pytania „Co istnieje?” lub „Co jest rzeczywiste?” są tylko pytaniami o to, jak chcemy używać tego czasownika lub przymiotnika [P65]. To pytania o gramatykę, a nie o naturę.

Natura zaś jest, jaka jest – a my odkrywamy ją bardzo stopniowo. Jeśli gramatyka i nasza intuicja niechętnie dostosowują się do dokonanych odkryć, trudna rada – musimy postarać się je dostosować.

Gramatyka wielu języków nowożytnych odmienia czasowniki w czasach „teraźniejszym”, „przeszłym” i „przyszłym”. Nie jest zbyt dobrze przystosowana, by mówić o prawdziwej czasowej strukturze rzeczywistości, która jest bardziej skomplikowana. Gramatyka wytworzyła się na podstawie naszego ograniczonego doświadczenia, zanim uświadomiliśmy sobie jej brak precyzji w opisywaniu bogatej struktury wszechświata.

Tym, co dezorientuje nas, gdy staramy się dojść do ładu z odkryciem, że nie istnieje żadna obiektywna i uniwersalna teraźniejszość, jest tylko nasza gramatyka osadzona na kategorycznym rozróżnieniu – przeszłość/teraźniejszość/przyszłość – które jest jedynie częściowo trafne, w naszym najbliższym otoczeniu. Struktura rzeczywistości nie jest taka, jaką zakłada ta gramatyka. Mówimy, że zdarzenie „jest", „było" lub „będzie". Nie mamy gramatyki przystosowanej to tego, by mówić, że zdarzenie „było" względem mnie, ale „jest" względem ciebie.

Nie wolno nam dać się zmylić nieadekwatnej gramatyce. Ze świata starożytnego przetrwał tekst, który w następujący sposób odnosi się do kulistego kształtu Ziemi:

> Dla stojących od dołu rzeczy u góry są na dole, a rzeczy u dołu są na górze (…) i tak jest dookoła całej ziemi [P66].

Przy pierwszym czytaniu zdanie to wydaje się mętlikiem, sprzecznością pojęć. Jak to możliwe, że „rzeczy u góry są na dole, a rzeczy u dołu są na górze"? Bez sensu. Można je porównać do złowieszczego „Szpetność upięknia, piękność szpeci" [P67] z *Makbeta.* Jeśli jednak przeczytamy je ponownie, pamiętając o kształcie Ziemi i obowiązującej na niej fizyce, staje się ono jasne: autor mówi, że kierunek „do góry" dla mieszkańców antypodów (Australii) pokrywa się z kierunkiem „w dół" mieszkańców Europy. Innymi słowy, mówi, że kierunek „w górę" zmienia się w zależności od miejsca na Ziemi. Ma na myśli, że to, co jest u góry *względem Sydney,* jest u dołu *względem nas.* Autor owego tekstu, napisanego dwa tysiące lat temu, ma trudność z dostosowaniem swojego języka i intuicji do nowego odkrycia: tego, że Ziemia jest kulista i że „góra" i „dół" mają sens, który *zmienia się* przy przejściu z miejsca na miejsce. Terminy te nie mają, jak wcześniej myślano, jednego, uniwersalnego znaczenia.

Jesteśmy w tej samej sytuacji. Z trudem usiłujemy dostosować swój język i intuicję do nowego odkrycia: tego, że „przeszłość" i „przyszłość" nie mają znaczenia uniwersalnego. Mają natomiast znaczenie, które zmienia się z miejsca na miejsce. O to tylko chodzi.

We wszechświecie zachodzą zmiany, występuje czasowa struktura związków pomiędzy zdarzeniami, która nie jest ani trochę iluzoryczna. To

wydarzanie się nie jest globalne. Jest miejscowe i złożone, a przez to nie daje się opisać za pomocą pojęcia pojedynczego, obejmującego wszystko porządku.

Co w takim razie z wypowiedzią Einsteina, że „rozróżnienie pomiędzy przeszłością, teraźniejszością a przyszłością jest niczym innym jak uparcie podtrzymywaną iluzją”? Czy nie zdaje się wskazywać, że myślał on inaczej? Nawet jeśli tak było, nie wydaje mi się, żebyśmy powinni taką czy inną opinię traktować jak wyrocznię dlatego tylko, że napisał ją Einstein. Wiele razy zmieniał on zdanie w podstawowych kwestiach i można znaleźć liczne błędne i wzajemnie sprzeczne stwierdzenia jego autorstwa [P68]. W tym jednak wypadku sprawa jest chyba znacznie prostsza. Albo znacznie głębsza.

Einstein ukuł to powiedzenie, gdy zmarł jego przyjaciel Michele Besso. Michele był mu bardzo bliski, towarzyszył mu w rozmyślaniach i rozważaniach jeszcze na Uniwersytecie Zuryskim. List, w którym Einstein zawarł to sformułowanie, nie jest skierowany do gremium fizyków ani filozofów – jest adresowany do rodziny Michelego, zwłaszcza do jego siostry. Poprzedzające je zdanie brzmi:

> Teraz [Michele] odszedł z tego dziwacznego świata nieco wcześniej ode mnie. To nie ma znaczenia [P69].

Nie jest to tekst pisany z myślą, by dać wykład o strukturze wszechświata – to list, który miał pocieszyć siostrę opłakującą śmierć brata. To życzliwy list nawiązujący do duchowej więzi pomiędzy Michelem i Albertem. To list, w którym Einstein sam mierzy się z cierpieniem po stracie wieloletniego przyjaciela i w którym wyraźnie rozmyśla nad własną zbliżającą się śmiercią. To list głęboko poruszający, w którym nawiązanie do iluzoryczności oraz bolesnej nieistotności nie odnosi się do czasu, tak jak rozumieją go fizycy. Kruchy, krótki, pełen złudzeń. To stwierdzenie tyczące się spraw głębszych niż *fizyczna* natura czasu.

Einstein umarł 18 kwietnia 1955 roku, miesiąc i trzy dni po śmierci swego przyjaciela.

Rozdział 8

Dynamika jako relacja

Prędzej czy później
dokładna miara naszego czasu
zostanie przywrócona,
a my wsiądziemy do łodzi zmierzającej
do portu największej goryczy. (II, 9)

Jak opisać świat, w którym wszystko się dzieje, lecz nie ma zmiennej czasu? W którym brak wspólnego czasu i nadrzędnego kierunku zachodzenia zmian?

Najprościej: tak samo, jak myśleliśmy o świecie, zanim Newton przekonał nas wszystkich o niezbędności zmiennej czasu.

Zmienna czasowa nie jest potrzebna do opisania świata. Potrzebne są za to zmienne, które rzeczywiście go opisują – te, które możemy dostrzec, obserwować i w końcu zmierzyć. Długość drogi, wysokość drzewa, temperatura czoła, waga bochenka chleba, kolor nieba, liczba gwiazd na sklepieniu niebieskim, sprężystość kawałka bambusa, prędkość pociągu, nacisk dłoni położonej na ramieniu, ból straty, układ wskazówek zegara i położenie słońca na niebie… W takich kategoriach opisujemy świat. Przez wielkości i własności, których nieustanne *zmiany* widzimy. W zmianach tych występują regularności: kamień spada szybciej niż pióro. Słońce i księżyc krążą jedno za drugim po niebie, mijając się co miesiąc… Wśród tych wielkości są takie, które, jak widzimy, regularnie zmieniają się względem innych: liczba dni, fazy księżyca, położenie słońca nad horyzontem, układ wskazówek zegara. Przydaje się używanie *ich* jako punktów odniesienia: „Spotkajmy się trzy dni po najbliższej pełni, kiedy słońce będzie w najwyższym punkcie na niebie”, „Widzimy się jutro, gdy zegar pokaże 16:35”. Jeśli znajdziemy wystarczającą liczbę zmiennych,

które pozostają dostatecznie wzajemnie zsynchronizowane, dogodne jest posługiwanie się nimi w określaniu *kiedy.*

Nie ma tu żadnej potrzeby wybierać jakiejś nadrzędnej zmiennej i nazywać jej „czasem”. W uprawianiu nauki potrzebna jest natomiast teoria mówiąca, jak te zmienne zmieniają się względem siebie – to znaczy, jak zmienia się jedna, gdy zmieniają się pozostałe. Tak musi być zbudowana fundamentalna teoria wszechświata. Nie musi zawierać zmiennej czasowej, ale musi nam mówić, jak to, co widzimy w świecie, zmienia się względem siebie – jakie związki mogą zachodzić pomiędzy tymi zmiennymi [P70].

Podstawowe równania grawitacji kwantowej są w praktyce właśnie tak sformułowane; nie mają zmiennej czasowej oraz opisują świat przez wskazywanie możliwych zależności pomiędzy zmiennymi wielkościami [P71].

W 1967 roku po raz pierwszy napisano równanie opisujące kwantową grawitację bez zmiennej czasu [P72]. Równanie to zostało odkryte przez dwóch amerykańskich fizyków Bryce’a DeWitta i Johna Wheelera, toteż znane jest dziś pod nazwą równania Wheelera–DeWitta.

Z początku nikt – chyba nawet Wheeler i DeWitt – nie pojmował wagi równania bez zmiennej czasu. (Wheeler: „Wyjaśnić czas? Nie bez wyjaśnienia istnienia! Wytłumaczyć istnienie? Nie bez wytłumaczenia czasu! Obnażenie ukrytego, głębokiego związku pomiędzy czasem a istnieniem […] jest zadaniem na przyszłość” [P73]). Rozgorzała na ten temat wielka dyskusja, poświęcano mu konferencje i debaty, strumieniami lał się atrament [P74]. Wydaje mi się, że teraz kurz już opadł i sprawa stała się klarowniejsza. W nieobecności czasu w podstawowym równaniu grawitacji kwantowej nie ma nic tajemniczego. Jest to jedynie konsekwencja tego, że na zupełnie podstawowym poziomie żadna zmienna nie jest szczególnie uprzywilejowana.

Teoria ta nie opisuje, jak coś zmienia się *w czasie*. Opisuje ona, jak jedne rzeczy zmieniają się *w stosunku do innych* [P75], jak coś we wszechświecie dzieje się względem czegoś innego. Tylko tyle to znaczy.

W ostatnich latach Bryce i John odeszli od nas. Obydwu ich znałem, szczerze podziwiałem i szanowałem. Na ścianie mojego gabinetu na Uniwersytecie Marsylskim powiesiłem list, który John Wheeler napisał do mnie po przeczytaniu mojej pierwszej pracy dotyczącej kwantowej

grawitacji. Od czasu do czasu odczytuję go sobie ponownie z mieszaniną dumy i nostalgii. Żałuję, że nie zadałem mu więcej pytań podczas naszych kilku spotkań. Ostatnim razem, gdy odwiedziłem go w Princeton, poszliśmy na długi spacer. Mówił do mnie cichym, starczym głosem. Nie byłem w stanie zbyt wiele zrozumieć, ale nie śmiałem zbyt często prosić go, żeby powtórzył. Teraz już go z nami nie ma. Nie mogę zadawać mu więcej pytań ani dzielić się swoimi przemyśleniami. Nie mogę już mu wyznać, że w moim mniemaniu jego koncepcje są poprawne i że były dla mnie drogowskazami przez całe naukowe życie. Nie mogę już mu powiedzieć, że uważam go za pierwszego, który uchylił rąbka tajemnicy grawitacji kwantowej. Bo już go tu nie ma – tu i teraz. Tym jest czas dla nas. Pamięcią i nostalgią. Bólem czyjejś nieobecności.

Niemniej smutku nie wywołuje nieobecność, lecz przywiązanie i miłość. Bez przywiązania, bez miłości taka nieobecność nie sprawiałaby nam bólu. Z tego powodu nawet cierpienie spowodowane zabraknięciem kogoś jest ostatecznie czymś dobrym, a nawet pięknym, ponieważ wyrasta z tego, co nadaje życiu sens.

Bryce’a poznałem w Londynie za pierwszym razem, gdy udałem się na poszukiwania zespołu pracującego nad grawitacją kwantową. Byłem młodym adeptem fizyki, zafascynowanym tym tajemnym zagadnieniem, którym we Włoszech nikt się nie zajmował. On był w tej dziedzinie prawdziwym guru. Udałem się do Imperial College na spotkanie z Chrisem Ishamem. Po przybyciu dowiedziałem się, że siedzi akurat na tarasie na górnym piętrze. Zastałem tam przy stoliku Chrisa Ishama, Karela Kuchaře i Bryce’a DeWitta – trzech głównych autorów idei, które studiowałem przez ostatnie lata. Doskonale pamiętam ogromne wrażenie, jakie wywarli na mnie, gdy patrzyłem przez szybę, jak spokojnie dyskutują ze sobą. Nie śmiałem im przerywać. Wydawało mi się, że obserwuję trzech wielkich mistrzów zen, którzy z zagadkowym uśmiechem wymieniają się nieprzeniknionymi prawdami.

Najprawdopodobniej umawiali się, gdzie wieczorem pójdą na kolację. Przypominając sobie teraz to wydarzenie, zdałem sobie sprawę, że byli wtedy młodsi niż ja obecnie. Tym także jest czas: przeskokami perspektywy. Na krótko przed śmiercią Bryce udzielił we Włoszech długiego wywiadu, który ukazał się potem w formie niewielkiej książki [P76].

Dopiero wtedy zdałem sobie sprawę, że obdarzał moje prace znacznie większym zainteresowaniem – i sympatią – niż mogłem podejrzewać na podstawie naszych rozmów, w których skłonny był wyrażać więcej słów krytyki niż zachęty.

John i Bryce byli moimi duchowymi ojcami. Spragniony, w ich myślach znajdowałem źródło świeżej, czystej wody, z którego mogłem czerpać. Dziękuję Ci zatem, Johnie, dziękuję, Brysie. Będąc ludźmi, żyjemy emocjami i myślami. Wymieniamy się nimi, gdy znajdziemy się w tym samym miejscu i czasie, rozmawiając, patrząc sobie w oczy, czując dotyk skóry o skórę. Karmimy się tą siecią spotkań i wymian. Lecz w rzeczywistości wcale nie musimy być w tym samym miejscu i czasie, aby do tego dochodziło. Myśli i emocje snujące między nami nici przywiązania bez trudu przekraczają morza i dziesięciolecia, czasem nawet stulecia, uczepione kart papieru lub tańczące pomiędzy mikroczipami komputerów. Jesteśmy częścią sieci rozciągającej się daleko poza obręb tych paru dni naszego życia i kilku metrów kwadratowych, po których stąpamy. Ta książka także należy do jej splotów.

Odszedłem jednak od tematu i straciłem wątek. Tęsknota za Johnem i Bryce’em spowodowała, że zboczyłem ze ścieżki. Zamierzałem w tym rozdziale przekazać jedynie, że odkryli oni niezwykle prostą strukturę równania opisującego dynamikę wszechświata. Wskazuje ono możliwe zdarzenia i korelacje pomiędzy nimi – nic więcej.

To elementarna forma mechaniki wszechświata, w której nie ma wzmianki o „czasie”. Świat bez zmiennej czasu nie jest skomplikowany. To sieć połączonych ze sobą zdarzeń, w których uczestniczące zmienne przestrzegają probabilistycznych reguł, a reguły te – o dziwo – w dużej mierze umiemy zapisać. To przejrzysty świat, smagany wiatrem i tchnący pięknem jak górskie granie; równie piękny, jak spękane usta nastolatków.

Kwantowe zdarzenia elementarne i sieci spinowe

Równania pętlowej grawitacji kwantowej [P77], którą się zajmuję, stanowią nowoczesną wersję teorii Wheelera i DeWitta. Nie ma w nich zmiennej czasu.

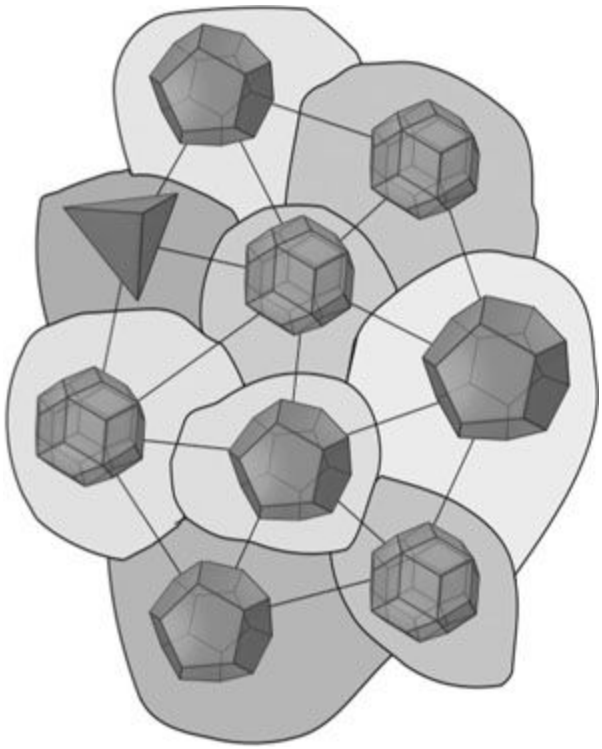
Zmienne tej teorii opisują pola tworzące materię, fotony, elektrony, inne składniki atomów oraz pole grawitacyjne – wszystkie na tym samym poziomie. Pętlowa grawitacja nie jest „zunifikowaną teorią wszystkiego". Absolutnie nie próbuje ona pretendować do miana ostatecznej teorii przyrody. Składa się ze spójnych, lecz odrębnych części i stara się „jedynie" być *spójnym* opisem takiego świata, jaki dotąd poznaliśmy.

Wspomniane pola przejawiają się w postaci ziarnistej: cząstek elementarnych, fotonów i kwantów grawitacji – czy raczej „kwantów przestrzeni". Te elementarne ziarna nie istnieją zanurzone w przestrzeni, lecz same tę przestrzeń tworzą. Przestrzenność wszechświata składa się z sieci ich oddziaływań. Ziarna te nie są również zanurzone w czasie, lecz bezustannie oddziałują ze sobą i wręcz jedynie w tym sensie istnieją. Te oddziaływania *są* wydarzaniem się wszechświata – jest to najmniejsza podstawowa postać czasu, która nie jest ani kierunkowa, ani liniowa. Nie ma też tej gładkiej, zakrzywionej geometrii, którą badał Einstein. Jest to wzajemne oddziaływanie, w którym kwanty przejawiają się względem tego, z czym oddziałują.

Dynamika tych oddziaływań jest probabilistyczna. Prawdopodobieństwa tego, że coś się stanie – po warunkiem zdarzenia się czegoś innego – w zasadzie można policzyć, zaprzęgając do tego równania owej teorii.

Nie możemy wyrysować pełnej mapy, całej geometrii wszystkiego, co wydarza się we wszechświecie, ponieważ takie wydarzenia – włączając w to upływ czasu – zawsze następują jedynie w wyniku oddziaływania z układem fizycznym i względem układu fizycznego, który w nim uczestniczy. Cały świat jest jak zbiór powiązanych wzajemnie punktów widzenia. Mówienie o wszechświecie „widzianym z zewnątrz" jest bez sensu, bo nie ma żadnego „zewnątrz".

Elementarne *kwanty* pola grawitacyjnego istnieją w skali Plancka. Są podstawowymi ziarnami splatającymi się w giętką tkaninę, za pomocą której Einstein zreinterpretował absolutną przestrzeń i czas Newtona. To one i ich oddziaływania określają rozpiętość przestrzeni i czasu.

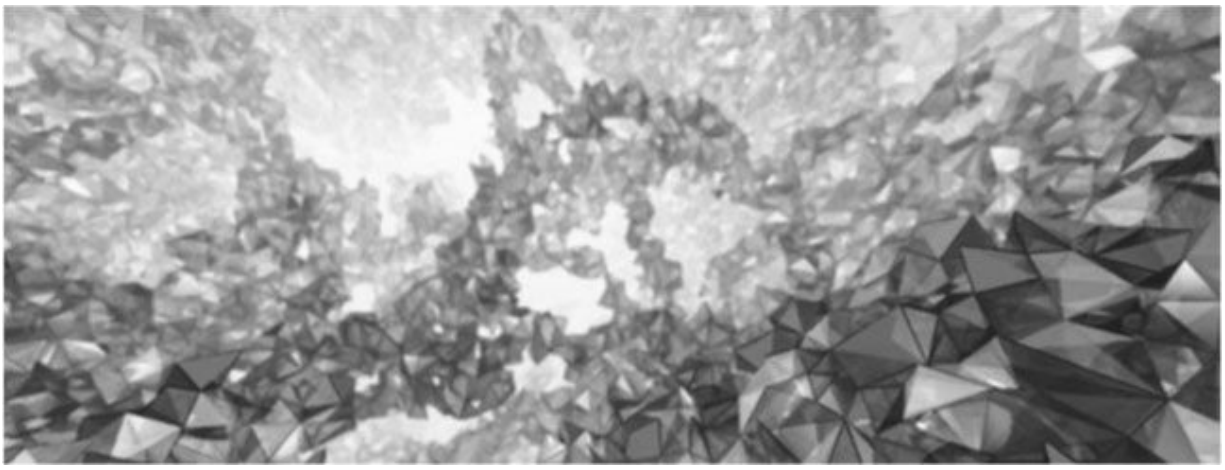


Ilustracja sieci elementarnych ziaren przestrzeni (czyli sieć spinowa)

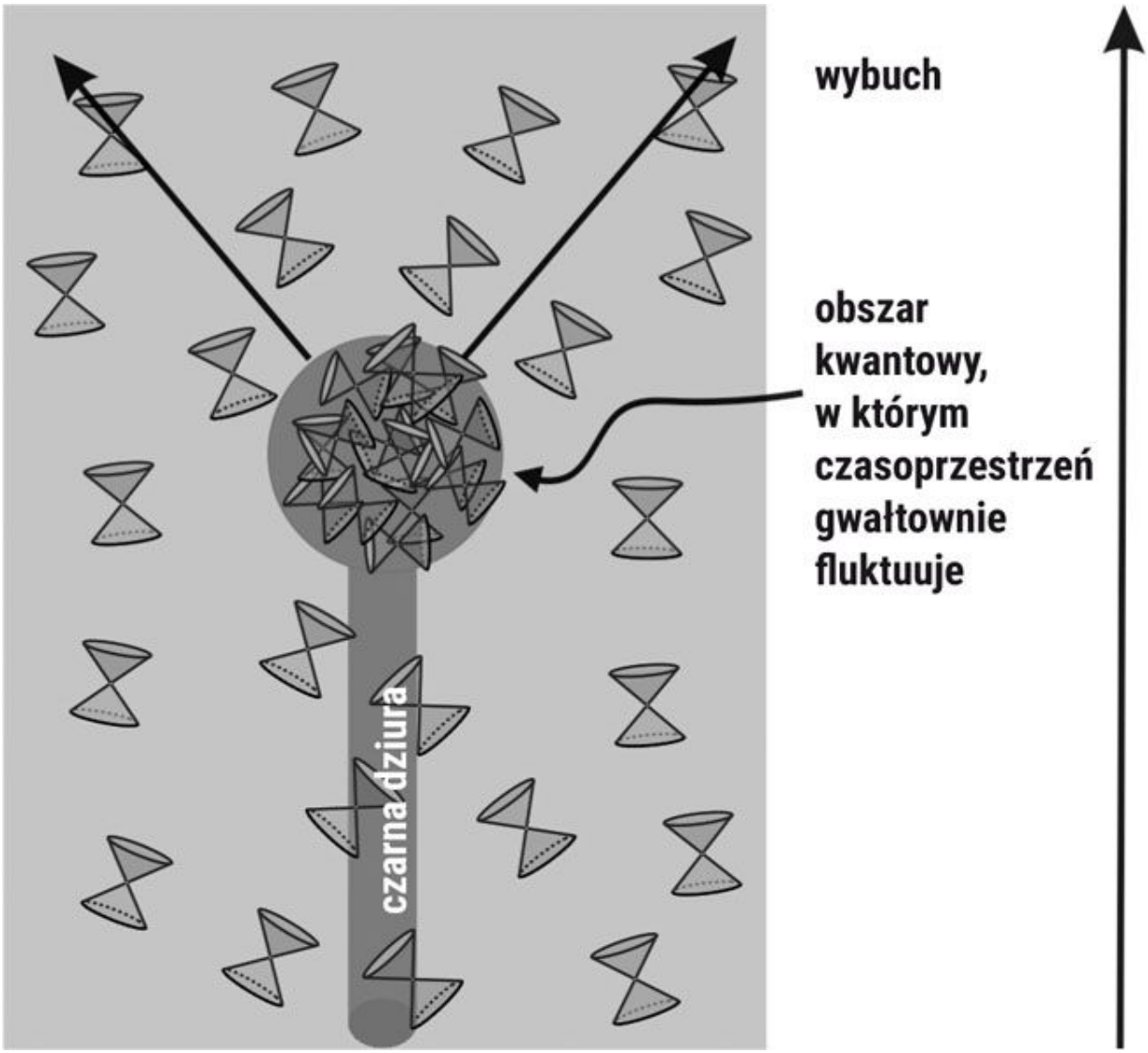
Relacje sąsiedztwa przestrzennego łączą ziarna przestrzeni w sieci. Nazywamy je sieciami spinowymi. Termin „spin” pochodzi z matematycznego opisu ziaren przestrzeni [P78]. Pierścienie w sieci spinowej określa się mianem „pętli” i to im swą nazwę zawdzięcza teoria pętlowa.

Sieci z kolei przekształcają się jedna w drugą dyskretnymi skokami opisanymi w tej teorii jako struktury zwane „pianą spinową” [P79].

Skoki te układają się we wzory, które w dużej skali sprawiają na nas wrażenie gładkiej struktury czasoprzestrzeni. W małej skali teoria ta opisuje fluktuującą „czasoprzestrzeń kwantową” – probabilistyczną i dyskretną – która składa się z szalejącego rojowiska pojawiających się i znikających kwantów.



Oto wszechświat, z którym codziennie staram się dojść do ładu – niezwykły, lecz nie bezsensowny. Wraz z moim zespołem badawczym w Marsylii dążę na przykład do policzenia czasu potrzebnego do wybuchu czarnej dziury, gdy przechodzi ona fazę kwantową.



Wewnątrz czarnej dziury i w jej najbliższym otoczeniu w fazie tej nie ma już jednoznacznie określonej czasoprzestrzeni. Istnieje tylko kwantowa superpozycja sieci spinowych. Tak jak elektron pomiędzy chwilą emisji i chwilą dojścia do ekranu może się rozpostrzeć w chmurę prawdopodobieństwa i przejść przez więcej niż jedno miejsce, tak czasoprzestrzeń kwantowego kolapsu[1] czarnej dziury przechodzi fazę, w której czas gwałtownie fluktuuje – pojawia się superpozycja kwantowa różnych czasów – a następnie powraca do określonego stanu po wybuchu.

Mimo że w tej fazie pośredniej czas jest całkowicie nieokreślony, znamy równania mówiące, co się tam dzieje – równania obywające się bez czasu.

Taki jest wszechświat opisywany przez teorię pętlową.

Czy jestem pewien, że jest to poprawny opis świata? Nie, nie jestem. Jednakże jest to obecnie jedyny znany mi spójny i kompletny sposób ujęcia struktury czasoprzestrzeni, który nie pomija jej własności kwantowych. Pętlowa grawitacja kwantowa pokazuje, że można stworzyć spójną teorię bez odwołania do podstawowej przestrzeni i czasu – i że pozwala ona na wyprowadzanie przewidywań jakościowych.

W teorii takiego typu czas i przestrzeń nie są już czymś, w czym świat się zawiera, ogólnymi formami świata. Są jedynie przybliżeniami dynamiki kwantowej, która sama nie zna ani czasu, ani przestrzeni. Istnieją tylko zdarzenia i powiązania. To bezczasowy świat fizyki elementarnej.

1. W sensie analogicznym do pojęcia kolapsu funkcji falowej w kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej, tj. zmaterializowania się stanu kwantowego w wyniku interakcji (przyp. tłum.). [wróć]

CZĘŚĆ TRZECIA

ŹRÓDŁA CZASU

Rozdział 9

Czas to niewiedza

> Nie pytaj, bo wiedzieć nie trzeba, jaki mnie, jaki tobie
> kres bogowie zgotują, Leukonoe, ni babilońskich
> nie badaj liczb. o ileż lepiej przyjąć, co się zdarzy. (I, 11) [P80]

Jest czas rodzenia i czas umierania, czas płaczu i czas pląsów, czas zabijania i czas leczenia. Czas burzenia i czas budowania [P81]. Aż dotąd był w tej książce czas na burzenie czasu. Teraz nadszedł czas na odbudowanie doświadczanego przez nas czasu – na znalezienie jego źródeł, zrozumienie, skąd się bierze.

Jeśli w najbardziej podstawowej dynamice wszechświata wszystkie zmienne są równoważne, czym jest to, co my, ludzie, zwiemy czasem? Czym jest to, co mierzy mój zegarek? Czym jest to, co zawsze biegnie naprzód, a nigdy w tył – i dlaczego takie jest? Nie jest to może składową podstawowej gramatyki wszechświata, ale czym jest?

Wiele jest rzeczy, które nie należą do podstawowej gramatyki wszechświata, ale po prostu w jakiś sposób „się wyłaniają”. Na przykład:

- Kot nie jest jednym z elementarnych składników wszechświata. Jest czymś złożonym, co *się wyłania* i powtarza w wielu miejscach na naszej planecie.
- Grupa chłopców na boisku postanawia rozegrać mecz. Formują dwie drużyny. My robiliśmy to tak: dwóch najbardziej przebojowych kolegów wybierało na zmianę kolejnych zawodników, rzuciwszy najpierw monetą, żeby ustalić, który zaczyna. Gdzie były te drużyny, zanim je wybrano? Nigdzie. *Wyłoniły się* w wyniku zastosowania tej procedury.

- Skąd biorą się „góra” i „dół” – określenia tak nam znane, a których brak jednak w podstawowych równaniach wszechświata? Biorą się z bliskiej nas Ziemi, która przyciąga. „Góra” i „dół” *wyłaniają się* z wszechświata w pewnych okolicznościach, na przykład gdy w pobliżu jest duża masa.
- Widzimy w górach dolinę skąpaną w morzu białych chmur. Ich nieskazitelna powierzchnia aż lśni. Zaczynamy schodzić do doliny. Powietrze staje się wilgotniejsze, coraz mniej przejrzyste; niebo traci błękit. Znajdujemy się we mgle. Gdzie podziała się ta wyraźnie określona powierzchnia chmur? Rozpłynęła się. Jej zanik jest stopniowy – nie ma *powierzchni* rozdzielającej mgłę od rzadkiego górskiego powietrza. Czy była ona złudzeniem? Nie, to był widok z daleka. Gdy się nad tym zastanowić, tak jest z *wszystkimi* powierzchniami. Ten gęsty marmurowy stół wyglądałby jak mgła, gdybym wystarczająco się zmniejszył – do skali atomowej. W zbliżeniu *wszystko* we wszechświecie się rozmywa. Gdzie dokładnie kończą się góry, a zaczynają równiny? W którym punkcie zaczyna się sawanna, a kończy pustynia? Kroimy świat na grube plastry. Myślimy o nim za pomocą pojęć, które są sensowne dla nas, które *wyłaniają się* w pewnej skali.
- Każdego dnia widzimy, jak dookoła nas kręci się niebo, ale naprawdę to my się kręcimy. Czy codzienny spektakl obracającego się wszechświata jest „złudny”? Nie, jest prawdziwy, ale nie dotyczy wyłącznie samego kosmosu. Jest wynikiem *relacji* między nami a Słońcem i gwiazdami. Dochodzimy do zrozumienia go, zadając sobie pytanie, jak *my* się poruszamy. Ruch kosmosu *wyłania się* z relacji pomiędzy nim a nami.

W tych przykładach coś realnie istniejącego – kot, drużyna piłkarska, góra i dół, powierzchnia chmur, obroty kosmosu – *wyłania się* ze świata, w którym na dużo prostszym poziomie nie ma kotów, drużyn, góry i dołu, powierzchni chmur ani obracającego się kosmosu… Czas wyłania się z bezczasowego wszechświata na dość podobnej zasadzie jak w powyższych przykładach.

W dwóch krótkich, technicznych rozdzialikach – tym i kolejnym – rozpoczynamy odbudowywanie czasu. Jeśli będzie ci trudno przez nie przebrnąć, przeskocz od razu do rozdziału 11. Stamtąd będziemy stopniowo, krok po kroku, docierać do spraw bardziej ludzkich.

Czas cieplny

W gorączce termicznej kotłowaniny cząsteczkowej wszystkie zmienne, które tylko mogą się zmieniać, robią to nieprzerwanie.

Jedna rzecz pozostaje jednak stała: całkowita ilość energii układu izolowanego. Energię spaja z czasem silny związek. Tworzą one jedną z tych wyróżniających się par wielkości, które fizycy nazywają „sprzężonymi”, jak na przykład położenie i pęd lub moment pędu i jego kierunek. Elementy tych par są ze sobą związane. Z jednej strony znajomość energii układu [P82] – tego, jak wiąże się ona z pozostałymi zmiennymi – oznacza znajomość tego, jak płynie czas, ponieważ równania ewolucji układu w czasie wynikają z postaci jego energii [P83]. Z drugiej strony energia zostaje zachowana w czasie, a zatem nie może się zmieniać, nawet gdy zmienia się wszystko inne. Wzbudzenia termiczne przeprowadzają dany układ [P84] przez wszystkie konfiguracje o tej samej energii i tylko przez takie. Zespół tych konfiguracji – nierozróżnialnych dla naszego nieostrego makroskopowego wzroku – jest „(makroskopowym) stanem równowagi”: niezmąconą szklanką gorącej wody.

Standardowo interpretując związek między czasem a stanem równowagi, mówi się, że czas jest obiektywny i bezwzględny, że energia wyznacza ewolucję czasową układu oraz że układ w równowadze to zbiorowisko wszystkich konfiguracji o tej samej energii. Konwencjonalne rozumowanie stojące za taką interpretacją wygląda następująco:

> czas -> energia -> stan makroskopowy [P85]

Oznacza to, że w celu zdefiniowania stanu makroskopowego musimy najpierw znać energię, a w celu określenia energii musimy najpierw wiedzieć, co jest czasem. W takim rozumowaniu czas stoi na pierwszym miejscu i jest niezależny od reszty.

Można jednak inaczej myśleć o tym samym związku: czytać go wspak. To znaczy, najpierw zauważyć, że stan makroskopowy – czyli jakiś rozmyty obraz świata – można rozumieć jako mieszaninę o zachowanej energii, która z kolei wytwarza czas:

> stan makroskopowy -> energia -> czas [P86]

Spostrzeżenie to przynosi nowy punkt widzenia: w podstawowym układzie fizycznym, w którym brak jest nadrzędnej zmiennej odgrywającej rolę „czasu” – czyli w takim, w którym wszystkie zmienne są równorzędne, ale

widzimy jedynie ich rozmyty obraz w stanach makroskopowych – czas jest *wyznaczany* przez ogólny stan makroskopowy.

Powtórzę ten wniosek, ponieważ jest on kluczowy: stan makroskopowy (czyli pomijający szczegóły) wybiera konkretną zmienną, która ma pewne własności czasu.

Innymi słowy, czas zostaje określony po prostu w wyniku rozmycia obrazu. Na podstawie tego, że w szklance wody występuje mrowie niewidocznych dla nas zmiennych mikroskopowych, Boltzmann zrozumiał, że rolę w sposobie zachowywania się ciepła odgrywa rozmycie obrazu. *Liczba* możliwych konfiguracji mikroskopowych wody jest jej entropią. Ale mamy tu do czynienia z czymś jeszcze. Samo rozmycie obrazu określa szczególną zmienną: czas.

W podstawowej fizyce relatywistycznej, w której żadna zmienna nie pełni a priori funkcji czasu, możemy odwrócić relację pomiędzy stanem makroskopowym i ewolucją układu w czasie: to nie ewolucja w czasie wyznacza ten stan, lecz stan – rozmycie – wyznacza czas.

Czas, określony w ten sposób przez stan makroskopowy, nazywa się „czasem cieplnym”. W jakim sensie można w ogóle mówić, że jest to czas? Z mikroskopowego punktu widzenia nie ma w nim nic specjalnego – jest zmienną jak każda inna. Jednak z makroskopowego punktu widzenia ma zasadniczą cechę: w gronie wielu równorzędnych zmiennych czas cieplny jest tą, której zachowanie najbardziej przypomina to, co zwykliśmy nazywać „czasem”, ponieważ jego związki ze stanami makroskopowymi są właśnie tymi, które znamy z termodynamiki.

Niemniej nie jest to czas uniwersalny. Określa go stan makroskopowy, czyli rozmycie obrazu, niepełność opisu. W następnym rozdziale omówię pochodzenie tego rozmycia. Zanim jednak do tego przejdziemy, postawmy jeszcze jeden krok i włączmy do rozważań mechanikę kwantową.

Czas kwantowy

Roger Penrose jest jednym z najklarowniej wypowiadających się naukowców, którzy zajmują się czasem i przestrzenią [P87]. Doszedł do wniosku, że fizyka teorii względności niekoniecznie kłóci się z naszym doznawaniem *upływu* czasu, jednak nie jest zdolna dostatecznie go

wyjaśnić. Wskazał, że brakującym elementem układanki może być to, co dzieje się w ramach oddziaływania kwantowego [P88]. Również wielki francuski matematyk Alain Connes zwrócił uwagę na istotną rolę oddziaływania kwantowego u źródła czasu.

Kiedy oddziaływanie konkretyzuje *położenie* cząsteczki, zmienia się jej stan. To samo tyczy się jej *prędkości*. Jeśli *najpierw* skonkretyzuje się prędkość, a *potem* położenie, stan cząsteczki zmieni się *inaczej*, niż gdyby kolejność tych dwu zdarzeń była odwrotna. Kolejność ma znaczenie. Jeśli najpierw zmierzę położenie elektronu, a potem jego prędkość, jego stan zmieni się inaczej, niż gdybym zmierzył najpierw jego prędkość, a następnie położenie.

Nazywa się to niekomutatywnością (nieprzemiennością) zmiennych kwantowych, ponieważ położenie i prędkość „nie komutują”, czyli nie mogą bezkarnie zamienić kolejności. Owa nieprzemienność jest jednym ze zjawisk właściwych mechanice kwantowej. Warunkuje ona porządek, a co za tym idzie zalążek czasu w wyznaczaniu wartości dwu zmiennych fizycznych. Określanie wartości zmiennej fizycznej nie jest zabiegiem izolowanym; wymaga oddziaływania. Efekt takich oddziaływań zależy od ich kolejności, ta zaś jest prymitywną formą uporządkowania czasowego.

Być może u źródeł porządku czasu we wszechświecie leży właśnie to, że rezultat oddziaływań zależy od ich kolejności. Na ten fascynujący pomysł wpadł Connes: zalążek czasowości w elementarnych przejściach kwantowych polega na naturalnym porządku (częściowym) takich oddziaływań.

Connes przedstawił tę koncepcję w wyrafinowanej postaci matematycznej. Pokazał, że nieprzemienność zmiennych fizycznych domyślnie definiuje swoisty upływ czasu. Ze względu na ich nieprzemienność zmienne fizyczne w danym układzie wyznaczają strukturę matematyczną nazywaną nieprzemienną algebrą von Neumanna, a Connes pokazał, że domyślnie zadaje ona pewien przepływ [P89].

Zaskakujące jest, że istnieje niezwykle bliski związek pomiędzy upływem Connes’a w układach kwantowych a czasem cieplnym, o którym pisałem wcześniej. Connes pokazał, że w układzie kwantowym przepływy termiczne określone przez różne stany makroskopowe są równoważne, z dokładnością do pewnych symetrii wewnętrznych [P90], i że łącznie tworzą

one właśnie przepływ Connes'a [P91]. Prościej mówiąc, czas zadany stanami makroskopowymi i czas zdefiniowany przez nieprzemienność kwantową są dwoma spojrzenia na to samo zjawisko.

Właśnie ten termiczny i kwantowy czas, jak uważam [P92], jest zmienną, którą nazywamy „czasem" w naszym rzeczywistym wszechświecie, w którym na zupełnie podstawowym poziomie zmienna czasu nie istnieje.

Nieunikniona nieoznaczoność zjawisk w świecie kwantowym powoduje rozmycie podobne do Boltzmannowskiego, które gwarantuje – wbrew temu, co zdawało się wynikać z fizyki klasycznej – że nieprzewidywalność wszechświata zostaje zachowana, nawet gdyby udało się dokonać pomiaru wszystkiego, co tylko jest mierzalne.

Oba powody rozmycia – kwantowa nieokreśloność oraz to, że układy fizyczne składają się niebywałej liczby cząsteczek – leżą u sedna czasu. Czasowość ściśle wiąże się z rozmyciem obrazu. A samo rozmycie spowodowane jest naszą nieznajomością mikroskopowych szczegółów świata. Fizyczny czas jest w ostatecznym rozrachunku wyrazem naszej ignorancji. Czas to niewiedza.

Alain Connes napisał wspólnie z dwoma przyjaciółmi krótką powieść science-fiction. Głównej bohaterce, Charlotte, udaje się na chwilę uchwycić całość wiedzy o wszechświecie – bez żadnego rozmycia. „Widzi" świat bezpośrednio, poza granicą czasu:

> Miałam niesłychane szczęście doświadczyć wszechobejmującego spojrzenia na moje istnienie – nie na jakiś jego szczególny moment, ale na mój byt w całości. Mogłam porównać jego naturę skończoną w przestrzeni, przeciw której nikt się nie burzy, z jego naturą skończoną w czasie, która jest źródłem takiego buntu.

Następnie, wracając do czasu, mówi:

> Doznałam wrażenia, że tracę całą tę nieskończoną wiedzę wygenerowaną na arenie kwantowej, i utrata ta wystarczyła, żeby wciągnąć mnie do przemożnego nurtu czasu.

Wynikające z tego uczucie jest uczuciem czasu:

> Zdawało mi się, że ten ponownie pojawiający się czas wtargnął do mnie, wywołał w moim umyśle dezorientację, ból, strach i wyobcowanie [P93].

Nasz rozmyty i niedookreślony obraz rzeczywistości wyznacza pewną zmienną – czas cieplny – która okazuje się mieć osobliwe cechy przypominające po trosze to, co nazywamy „czasem”. Zachowuje prawidłową zależność ze stanami równowagi.

Czas cieplny wiąże się z termodynamiką, a więc i z ciepłem, ale nie przypomina takiego czasu, jakiego doświadczamy, ponieważ nie rozróżnia przeszłości i przyszłości, nie ma kierunku i brak mu tego, co mamy na myśli, mówiąc o upływie. Nie dosięgliśmy jeszcze czasu znanego nam z ludzkiego doświadczenia.

Skąd bierze się ta tak ważna dla nas różnica pomiędzy przeszłością a przyszłością?

Rozdział 10

Perspektywa

W nieprzeniknionej nocy
swej mądrości
bóg trzyma
pochód dni,
co mają nadejść,
i śmieje się
z ludzkiej trwogi. (III, 29)

Całą różnicę między przeszłością a przyszłością można złożyć na karb wyłącznie tego, że w przeszłości entropia wszechświata była mała [P94]. Ale czemu tak było?

W tym rozdziale przedstawię hipotezę, która podaje jedną z możliwych odpowiedzi, o ile „zechcecie dać posłuch mej odpowiedzi na to pytanie i jej może wybujałemu domysłowi” [P95]. Nie jestem pewien, czy jest to odpowiedź prawidłowa, ale na pewno mnie zauroczyła [P96]. Wiele spraw może się dzięki niej rozjaśnić.

To my się kręcimy!

Bez względu na to, kim konkretnie każdy z nas, ludzi, jest z osobna, stanowimy też elementy przyrody, fragment wielkiego kosmicznego fresku, drobny kawałeczek wśród wielu innych.

Pomiędzy nami i resztą świata zachodzą fizyczne interakcje. Oczywiście *nie wszystkie* wielkości na świecie oddziałują z nami lub z tym wycinkiem świata, do którego należymy. Dotyczy to jedynie bardzo drobnego ułamka tych wielkości, a większość zupełnie nie wchodzi z nami w reakcje. Nie dostrzegają nas, a my ich. Dlatego też różne konfiguracje świata wydają się

nam równoważne. Fizyczne oddziaływanie między mną a szklanką wody – dwoma fragmentami świata – nie zależy od ruchu pojedynczych cząsteczek wody. Analogicznie fizyczne oddziaływanie między mną a odległą galaktyką – dwoma fragmentami świata – pomija to, co dokładnie się tam dzieje. Nasz obraz wszechświata jest więc zamazany dlatego, że fizyczne oddziaływania pomiędzy częścią świata, do której należymy, i pozostałymi są ślepe na wiele zmiennych.

To rozmycie leży u podstaw teorii Boltzmanna [P97]. Z niego rodzą się pojęcia ciepła i entropii, które z kolei są powiązane ze zjawiskami cechującymi upływ czasu. Entropia układu jawnie zależy od tego rozmycia – od tego, czego *nie* dostrzegam – ponieważ zależy od liczby *nierozróżnialnych* konfiguracji. *Ta sama* konfiguracja mikroskopowa może mieć wysoką entropię względem jednego rozmycia, a niską względem innego.

Nie znaczy to, że samo rozmycie jest konstruktem umysłowym – zależy ono od faktycznie występujących oddziaływań fizycznych [P98]. Entropia nie jest wielkością arbitralną czy subiektywną. Jest *względna*, tak jak prędkość.

Prędkość danego obiektu nie jest własnością jego samego, lecz własnością tego obiektu względem jakiegoś innego. Prędkość dziecka biegającego w jadącym pociągu ma jedną wartość względem tego pociągu (kilka kroków na sekundę), a inną względem ziemi (sto kilometrów na godzinę). Gdy matka każe dziecku: „Stań spokojnie!”, nie proponuje, żeby wyskoczyło przez okno i zatrzymało się *w stosunku do ziemi*. Chodzi jej o to, by dziecko zatrzymało się *względem pociągu*. Prędkość jest własnością jednego obiektu w stosunku do innego. Jest to wielkość względna.

Tak samo jest z entropią. Entropia układu A względem układu B zlicza konfiguracje A, których nie rozróżniają *fizyczne* oddziaływania A z B.

Wyjaśnienie to (którego brak często wprowadza zamieszanie) otwiera nam drogę do kuszącego rozwiązania tajemnicy strzałki czasu.

Entropia wszechświata nie zależy jedynie od jego własnej konfiguracji, ale również od tego, jak my go sobie rozmywamy, to zaś uwarunkowane jest zestawem zmiennych wszechświata, z jakimi oddziałujemy – czy raczej zestawem zmiennych, z jakimi oddziałuje nasza część świata.

Entropia wszechświata w zamierzchłej przeszłości wydaje się nam bardzo mała. Jednak może to nie oddawać dokładnego stanu świata, a jedynie dotyczyć tego podzbioru zmiennych, z którymi oddziaływaliśmy jako układy fizyczne. Entropia wszechświata była niska właśnie względem tego radykalnego rozmycia spowodowanego naszym oddziaływaniem z małym zestawem makroskopowych zmiennych, za pomocą których opisujemy świat.

Właśnie to niepodważalne spostrzeżenie otwiera możliwość, że to nie wszechświat był w bardzo szczególnej konfiguracji w przeszłości. Może to my wraz z naszymi z nim oddziaływaniami jesteśmy szczególni. To my warunkujemy konkretny opis makroskopowy. Może za początkową niską entropię wszechświata, a w rezultacie strzałkę czasu, w większej mierze odpowiadamy my sami niż wszechświat. Tak przedstawia się zarys tej koncepcji.

Zastanówmy się nad jednym z najcudowniejszych i najoczywistszych zjawisk: codziennym obrotem sklepienia niebieskiego. To najbliższy nam i najwspanialszy wyróżnik otaczającego nas świata: że się kręci. Ale czy rzeczywiście jest to cecha wszechświata? Nie, nie jest. Zajęło to tysiące lat, ale w końcu udało nam się zrozumieć obroty niebios: to *my* się kręcimy, a nie wszechświat. Obroty sfer niebieskich są wynikiem perspektywy związanej z naszym ruchem wraz z Ziemią, a nie tajemniczą własnością dynamiki wszechświata.

Coś podobnego może występować w kwestii strzałki czasu. Początkowa niska entropia wszechświata może być skutkiem szczególnego sposobu, w który my – układ fizyczny, do którego należymy – z nim oddziałujemy. Jesteśmy dostrojeni do bardzo swoistego podzbioru aspektów wszechświata i to właśnie *ten podzbiór* ma kierunek w czasie.

W jaki sposób jakieś szczególne oddziaływanie między nami i resztą świata może warunkować jego niską entropię początkową?

To proste. Weźmy zestaw dwunastu kart: sześć kierów i sześć pików. Ułóżmy je tak, żeby wszystkie kiery leżały na wierzchu. Potasujmy trochę tę talię i poszukajmy pików, które wmieszały się teraz w kiery. Przed tasowaniem nie ma ich tam w ogóle, po tasowaniu jest kilka. To elementarny przykład wzrostu entropii. Na początku liczba pików pomiędzy kierami w górnej połowie talii równa się zero (entropia jest mała), gdyż gra zaczęła się w *specjalnej* konfiguracji.

Przejdźmy teraz do innej gry. Najpierw losowo potasujmy talię i dopiero wtedy spójrzmy na pierwsze sześć kart i je zapamiętajmy. Następnie potasujmy talię tylko trochę i zobaczmy, jakie nowe karty ułożyły się wśród tych pierwszych sześciu. Na początku nie było żadnej, potem ich liczba – a zarazem entropia – wzrosła, podobnie jak w poprzednim przykładzie. Istnieje jednak pewna zasadnicza różnica pomiędzy tym przypadkiem i poprzednim: teraz na początku karty były w porządku *losowym*. To *my* oświadczyliśmy, że jest on szczególny, zapisując, które karty znajdowały się wtedy w górnej połowie talii.

Tak samo może być z entropią wszechświata. Być może nie był on w żadnej szczególnej konfiguracji. Być może to my należymy do jakiegoś szczególnego układu fizycznego, względem którego jego stan może być szczególny.

Dlaczego jednak miałby istnieć taki układ fizyczny, względem którego początkowy układ wszechświata okazuje się specjalny? Bo w bezmiarze wszechświata istnieje nieprzebrana mnogość układów fizycznych, które oddziałują ze sobą na jeszcze liczniejsze sposoby. Pośród nich, w niekończącej się grze prawdopodobieństw i wielkich liczb, z pewnością znajdą się takie, które oddziałują z resztą wszechświata *dokładnie* z tymi wielkościami, które w przeszłości przybierały szczególną wartość.

Nie ma nic dziwnego w tym, że w tak ogromnym wszechświecie jak nasz, znajdują się „wyjątkowe” podzbiory. Nie jest zaskakujące, że *ktoś* wygrywa na loterii: co tydzień ktoś wygrywa. Nienaturalne jest założenie, że cały wszechświat znajdował się w przeszłości w jakiejś niewiarygodnie „wyjątkowej” konfiguracji, nie jest natomiast nienaturalne wyobrażać sobie, że ten wszechświat ma jakieś „wyjątkowe” części.

Jeśli pewien podzbiór wszechświata jest w tym sensie wyjątkowy, dla niego entropia wszechświata jest w przeszłości mała, obowiązuje druga zasada termodynamiki – istnieją wspomnienia, pozostawia się ślady, może toczyć się ewolucja, życie i myśl.

Innymi słowy, jeśli we wszechświecie istnieje coś takiego – a wydaje mi się naturalne, że może istnieć – to my właśnie do tego należymy. „My” oznacza tutaj ten zbiór wielkości fizycznych, do których mamy zwyczajny dostęp i za pomocą których opisujemy wszechświat. Być może zatem upływ czasu nie jest właściwością wszechświata, lecz tak jak obroty sfer

niebieskich jest wynikiem szczególnego punktu widzenia, który przyjęliśmy w naszym zakątku kosmosu.

Dlaczego jednak to *my* mielibyśmy należeć do któregoś z tych wyjątkowych układów? Z tego samego powodu, dla którego jabłka rosną na północy Europy, tam, gdzie pija się cydr, a winogrona rosną na południu, tam, gdzie pija się wino; albo z tego powodu, dla którego urodziłem się tam, gdzie mówi się moim językiem ojczystym; albo z tego powodu, dla którego słońce dające nam ciepło znajduje się w odpowiedniej odległości – ani za blisko, ani za daleko. We wszystkich tych wypadkach „dziwny" zbieg okoliczności pojawia się w rezultacie pomieszania związków przyczynowo-skutkowych: to nie jabłka rosną tam, gdzie pije się cydr, ale cydr pije się tam, gdzie rosną jabłka. Gdy tak się to przedstawi, nie ma w tym już nic dziwnego.

Podobnie w bezgranicznej różnorodności wszechświata mogą trafić się układy fizyczne, które oddziałują z resztą świata przez te szczególne zmienne, które warunkują początkową niską entropię. Względem *tych* układów entropia nieustannie rośnie. W nich, i nigdzie indziej, występują typowe zjawiska powiązane z upływem czasu: możliwe jest życie, ewolucja, myśl, a także nasza świadomość upływu czasu. Tam rosną jabłka, z których robi się nasz cydr – czas. Ten słodki napój zawierający wszelką ambrozję i wszelką gorycz życia.

Indeksykalność

Uprawiając naukę, chcemy opisywać świat jak najbardziej obiektywnie. Staramy się wykluczać zniekształcenia i złudzenia optyczne mające źródło w naszym punkcie widzenia. Nauka dąży do obiektywizmu, do przyjęcia perspektywy, na którą wspólnie można się zgodzić.

Jest to godne podziwu dążenie, musimy być jednak czujni w stosunku do tego, co tracimy przez pomijanie punktu widzenia, z którego prowadzimy obserwacje. W swej pogoni za upragnionym obiektywizmem nauka nie może zapominać, że nasze doświadczanie świata wywodzi się z wnętrza nas. Każde spojrzenie na świat jest spojrzeniem z pewnej szczególnej perspektywy.

Wzięcie tego pod uwagę pomaga w wyjaśnieniu wielu spraw – na przykład związku między tym, co mówi nam mapa geograficzna, a tym, co

rzeczywiście widzimy. Żeby porównać te dwie rzeczy, niezbędna jest jedna podstawowa informacja: musimy znaleźć na mapie swoje dokładne położenie. Mapa nie wie, gdzie jesteśmy – przynajmniej jeśli nie jest zamontowana w miejscu, które właśnie ukazuje, tak jak tablice informacyjne w górach, które w gąszczu szlaków turystycznych zawierają czerwoną kropkę i napis: „Tu jesteś”.

Jest to dziwny napis… Skąd mapa ma wiedzieć, gdzie jesteśmy? Możemy przecież patrzeć na nią z oddali, przez lornetkę. Zamiast tego powinno być na niej napisane „Ja, mapa, jestem tutaj” wraz ze strzałką wskazującą na czerwoną kropkę. Jednak w napisie, który odnosi się do siebie samego, również jest coś intrygującego. Co?

W filozofii nazywa się to indeksykalnością – własnością pewnych słów polegającą na tym, że z każdym użyciem przyjmują inne znaczenie, określane przez to, gdzie, jak, kiedy i przez kogo są wypowiadane. Słowa takie jak „tu”, „teraz”, „ja”, „to”, „dziś wieczór” przyjmują różne znaczenia w zależności od tego, kto i w jakich okolicznościach je wypowiada. „Nazywam się Carlo Rovelli” jest zdaniem prawdziwym, jeśli ja je mówię, ale byłoby fałszywe, gdyby zostało wypowiedziane przez kogoś innego, kto nie nazywa się też Carlo Rovelli. „Dziś jest 12 września 2016 roku” jest zdaniem prawdziwym w chwili, kiedy je piszę, ale już po kilku godzinach stanie się fałszywe. Te sformułowania indeksykalne otwarcie korzystają z istnienia punktu widzenia i z tego, że jest on składnikiem każdego tworzonego przez nas opisu obserwowalnego świata.

Gdy podajemy opis świata – przestrzeni, czasu, dowolnego przedmiotu badań – pomijający punkt widzenia, opis tworzony wyłącznie „z zewnątrz”, możemy być w stanie stwierdzić wiele rzeczy, lecz tracimy pewne ogromnie istotne aspekty tego świata. A to dlatego, że świat, który nam dano, jest światem widzianym od środka, a nie od zewnątrz.

Wiele obserwowanych w świecie zjawisk można zrozumieć tylko wtedy, gdy weźmie się pod uwagę rolę odgrywaną przez punkt widzenia. Jeśli się tego nie zrobi, pozostaną one niewytłumaczalne. Ilekroć czegoś doświadczamy, zawsze jesteśmy osadzeni w świecie: w pewnym umyśle, w pewnym mózgu, w pewnym punkcie przestrzeni i czasu. Kwestia naszego usytuowania w świecie ma podstawowe znaczenie dla zrozumienia tego, jak doświadczamy czasu. Krótko mówiąc, nie wolno nam mylić czasowych struktur przynależnych światu „widzianemu z zewnątrz”

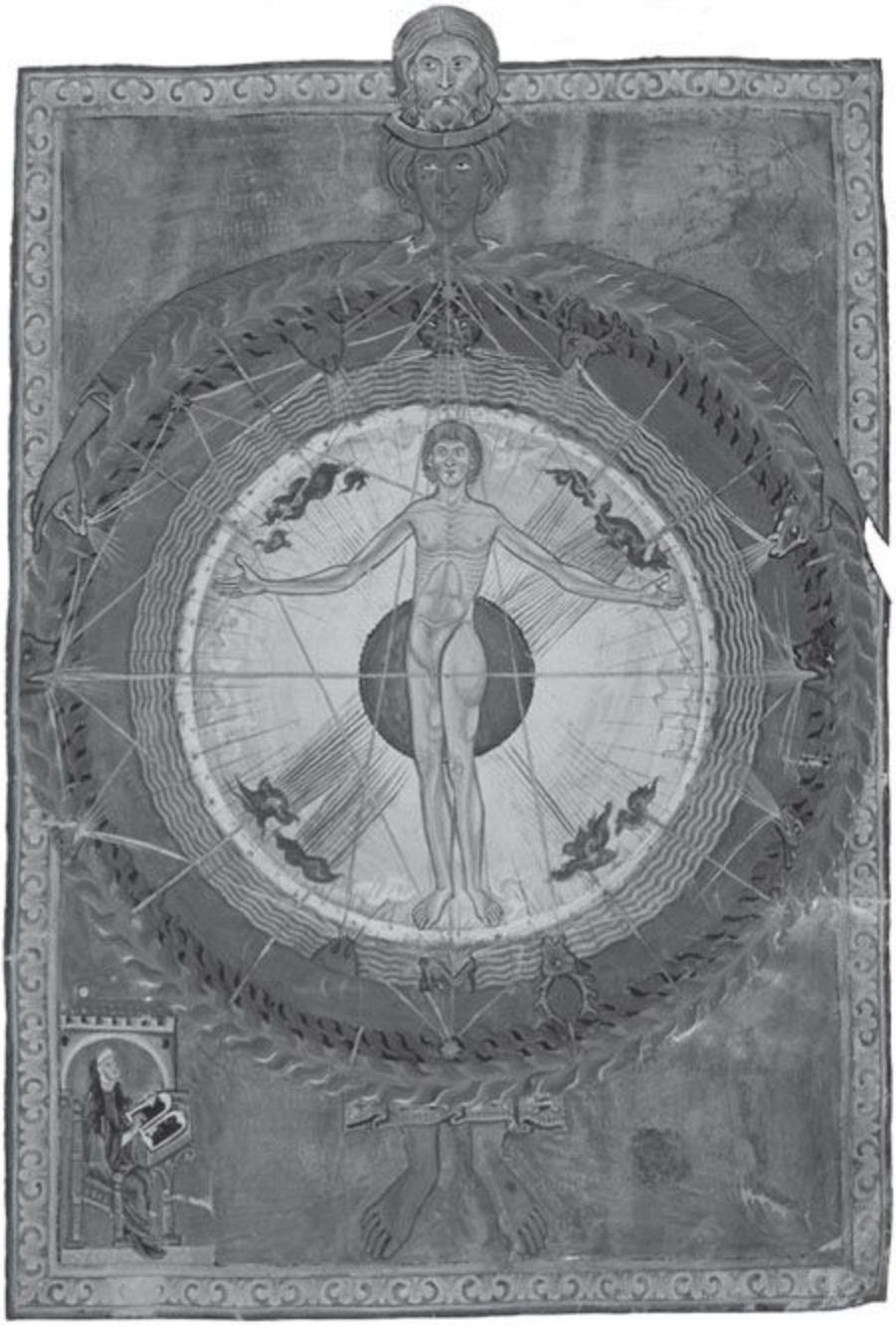
z aspektami świata obserwowanymi przez nas i zależnymi od tego, że jesteśmy jego częścią, jesteśmy w nim osadzeni [P99].

Żeby skorzystać z mapy geograficznej, nie wystarczy patrzeć na nią z zewnątrz. Trzeba wiedzieć, gdzie jest się usytuowanym względem tego, co ona przedstawia. Żeby zrozumieć, jak doświadczamy przestrzeni, nie wystarczy myśleć o przestrzeni Newtonowskiej. Musimy pamiętać, że widzimy ją od środka, że sami jesteśmy tam umiejscowieni. Żeby zrozumieć czas, nie wystarczy myśleć o nim z zewnątrz. Musimy zrozumieć, że w każdej przeżywanej przez nas chwili jesteśmy osadzeni *w* czasie.

Obserwujemy wszechświat od środka, oddziałując z drobną częścią niezliczonych zmiennych kosmosu. Widzimy rozmyty obraz. To podpowiada nam, że dynamika wszechświata, z którym oddziałujemy, jest określana przez entropię, która mierzy stopień tego rozmycia. Mierzy więc coś, co wiąże się bardziej z nami niż z kosmosem.

Docieramy w miejsce niebezpiecznie bliskie nas samych. Niemal słyszymy Tejrezjasza mówiącego w *Królu Edypie*: „Powstrzymaj się! Bo inaczej znajdziesz siebie” lub Hildegardę z Bingen, która poszukując w XII wieku absolutu, w centrum wszechświata ustawiła ostatecznie „człowieka kosmicznego”.

Zanim jednak dotrzemy do tych „nas”, potrzebny jest jeszcze rozdział o tym, jak wzrost entropii – być może zaledwie skutek naszej perspektywy – może doprowadzić do powstania całego tego bezmiernego zjawiska czasu.



Człowiek kosmiczny w centrum wszechświata, Liber Divinorum Operum (1164–1170) Hildegardy z Bingen

Pozwolę sobie teraz podsumować niełatwe zagadnienia omawiane w ostatnich dwu rozdziałach, mając nadzieję, że nie straciłem jeszcze wszystkich czytelników. Na zupełnie podstawowym poziomie wszechświat jest zbiorem zdarzeń *nieuporządkowanych* w czasie. Zdarzenia te są

wyrazem związków pomiędzy wielkościami fizycznymi, które są, a priori, równorzędne. Każdy fragment wszechświata oddziałuje z niewielką częścią wszystkich tych zmiennych, których wartości wyznaczają „stan wszechświata względem tego konkretnego podukładu”.

Mały układ S nie rozróżnia szczegółów pozostałej części wszechświata, ponieważ oddziałuje jedynie z niewielką liczbą należących do niej wielkości. Entropia wszechświata *względem* S zlicza (mikro)stany wszechświata, których S nie odróżnia. Wydaje się, że wszechświat jest w konfiguracji o dużej entropii *względem* S, ponieważ (z definicji) w konfiguracjach o większej entropii jest więcej mikrostanów, a zatem jest bardziej prawdopodobne, że znajduje się on w jednym z nich.

Jak wyjaśniałem powyżej, z konfiguracjami o dużej entropii wiąże się pewien *przepływ*, a jego parametrem jest *czas cieplny.* Względem typowego niewielkiego układu S entropia ogólnie pozostaje wysoka wzdłuż całego przepływu czasu cieplnego, choć zapewne nieznacznie wahając się w górę i w dół, bo mamy tu przecież do czynienia z prawdopodobieństwami, a nie sztywnymi regułami.

Jednakże wśród tych niezliczonych niewielkich układów S zawartych w niezmiernie rozległym wszechświecie, w jakim przyszło nam żyć, znajdzie się kilka szczególnych S, w których w wyniku fluktuacji entropia *na jednym z dwóch końców* przepływu czasu cieplnego jest niska. W *tych* układach S wahania są niesymetryczne – entropia rośnie. Wzrostu tego doświadczamy jako upływu czasu. Tym, co szczególne, nie jest początkowy stan całego wszechświata, ale mały układ S, w którym się znajdujemy.

Nie mam pewności, czy ta opowieść jest wiarygodna, ale nie znam lepszej. Do wyboru pozostaje druga możliwość: przyjąć, że niską entropię na początku wszechświata należy zaliczyć do danych obserwacyjnych, i na tym poprzestać [P100].

Prowadzi nas zasada ogłoszona przez Clausiusa, $\Delta S \geq 0$, a rozszyfrowana przez Boltzmanna: entropia nigdy nie maleje. Chociaż straciliśmy ją z oczu, poszukując ogólnych praw rządzących wszechświatem, odkryliśmy ją jako możliwy skutek perspektywy szczególnego podukładu. Zacznijmy ponownie od tego miejsca.

Rozdział 11

Co wyłania się ze szczególności

Czemuż splatają się
konary smukłej sosny
i bladej topoli,
by darzyć słodkim cieniem?
Czemuż chybka woda
w rwącym potoku
tworzy świetliste wiry? (II, 9)

To entropia, a nie energia, jest motorem świata

W szkole mówiono mi, że to dzięki energii świat się kręci. Musimy pozyskiwać energię, na przykład z ropy naftowej, słońca, paliw jądrowych. To energia napędza silniki, pomaga rosnąć roślinom i sprawia, że każdego ranka budzimy się pełni werwy.

Coś tu się jednak nie zgadza. Energia – jak też mówiono mi w szkole – zostaje zachowana. Nie podlega wytwarzaniu ani unicestwianiu. Jeśli jest zachowywana, to czemu ciągle musimy jej dostarczać? Czemu nie możemy wciąż używać tej samej energii?

Prawda jest taka, że energii jest w bród i nie jest ona zużywana. Do tego, by świat nadal się kręcił, nie jest mu potrzebna energia. Potrzebuje on niskiej entropii.

Wszelka energia (czy to mechaniczna, chemiczna, elektryczna czy potencjalna) przekształca się w cieplną, czyli w ciepło – wnika w zimne przedmioty, skąd nie da się jej za darmo wyciągnąć i ponownie wykorzystać do wzrostu roślin czy zasilenia silnika. W procesie tym całościowa ilość energii się nie zmienia, jednak wzrasta entropia i to *tego* nie można już odwrócić. Stanowi o tym druga zasada termodynamiki.

Świat posuwa się więc naprzód nie dzięki źródłom energii, lecz dzięki źródłom małej entropii. Bez niskiej entropii energia rozproszyłaby się w jednorodne ciepło i wszechświat zasnąłby w stanie równowagi termicznej – nie dałoby się już odróżnić przeszłości od przyszłości i nic więcej by się nie wydarzało.

W pobliżu Ziemi mamy bogate źródło niskiej entropii – Słońce. Wysyła ono ku nam gorące fotony. Następnie Ziemia wypromieniowuje ciepło w stronę czarnego nieba, emitując zimniejsze fotony. Energia wchodząca i wychodząca są mniej więcej takie same, w wyniku czego z reguły nie zyskujemy na tej wymianie. (Jej gromadzenie jest dla nas katastrofalne – oznacza globalne ocieplenie). Jednakże na każdy przylatujący gorący foton Ziemia wysyła aż dziesięć zimnych, bo ich sumaryczna energia równa się energii jednego ze Słońca. Gorący foton ma *mniejszą entropię* niż dziesięć zimnych, ponieważ liczba konfiguracji pojedynczego fotonu jest mniejsza niż dziesięciu. Słońce jest więc dla nas źródłem ciągłych dostaw niskiej entropii. Mamy do dyspozycji wielkie zasoby niskiej entropii i właśnie to pozwala roślinom i zwierzętom rosnąć, a nam budować silniki i miasta – oraz myśleć i pisać książki takie jak ta.

Skąd bierze się mała entropia Słońca? Stąd, że z kolei ono powstało z konfiguracji – pierwotnego obłoku pyłu kosmicznego – o jeszcze mniejszej entropii. I tak dalej, i tak dalej w przeszłość, aż sięgamy niezwykle niskiej entropii początkowej wszechświata.

To właśnie wzrost tej entropii napędza kosmiczną historię świata.

Jednakże wzrost entropii wszechświata nie następuje gwałtownie, jak nagłe rozszerzanie się gazu w pojemniku – zachodzi stopniowo, wymaga czasu. Mając pod ręką nawet gigantyczną chochlę, długo to potrwa, zanim zamieszamy nią coś tak ogromnego jak wszechświat. Przede wszystkim zaś na drodze wzrostu entropii trafiają się przeszkody i zamknięte bramy – przesmyki, w których wzrost ten zachodzi z ogromną trudnością.

Rozważmy na przykład stos drewna. Jeśli się go zostawi w spokoju, może przetrwać bardzo długo. Nie znajduje się on w stanie maksymalnej entropii, ponieważ pierwiastki, z których się składa – takie jak węgiel czy tlen – połączone są w szczególny („uporządkowany”) sposób, tak by mogły przyjąć postać drewna. Entropia rośnie, gdy połączenia te zostają rozerwane. Dzieje się tak podczas spalania. Pierwiastki odłączają się wtedy z poszczególnych struktur tworzących drewno i następuje nagły skok

entropii (spalanie jest ewidentnie nieodwracalnym procesem). Drewno nie zapala się jednak samo. Długo pozostaje w stanie niskiej entropii, aż coś otworzy drzwi do stanu o wyższej entropii. Stos drewna jest w stanie niestabilnym, jak talia kart, ale rozstrzygnięcie tej niestabilności nie następuje dopóty, dopóki coś tego nie nakaże. Tym czymś może być zapałka rozpalająca płomień. Płomień jest procesem otwierającym kanał, przez który drewno może przejść do stanu o wyższej entropii.

Są sytuacje, które utrudniają, a w konsekwencji spowalniają wzrost entropii we wszechświecie. Na przykład w przeszłości wszechświat był w większości bezbrzeżnym morzem wodoru. Wodór może w drodze fuzji jądrowej łączyć się w hel, który ma większą entropię. Żeby to zaszło, trzeba jednak otworzyć kanał: gwiazda musi dokonać zapłonu wodoru, żeby mógł zacząć spalać się w hel. A co sprawia, że gwiazdy się zapalają? Inny proces podnoszący entropię: grawitacyjne skupianie się obłoku wodoru, który żegluje sobie przez galaktykę. Taki skurczony obłok ma większą entropię niż rozproszony [P101]. Chmury wodorowe są jednak tak rozległe, że na ich ściągnięcie się potrzeba milionów lat. Dopiero taka koncentracja pozwala im dostatecznie rozgrzać się do tego, by wyzwolić procesy syntezy termojądrowej. Ów zapłon otwiera drzwi umożliwiające dalszy wzrost entropii: spalanie się wodoru do helu.

Cała historia wszechświata składa się z takich wstrzymań i skoków kosmicznego wzrostu entropii. Nie dzieje się to szybko ani jednorodnie, ponieważ rzeczy pozostają uwięzione w basenach niskiej entropii (stertach drewna, obłokach wodoru…), dopóki coś nie otworzy drzwi procesowi, który ostatecznie pozwoli entropii rosnąć. Sam wzrost entropii może czasem otworzyć nowe drzwi, przez które będzie ona mogła rosnąć jeszcze bardziej. Weźmy na przykład tamę na rzece w górach. Zatrzymuje ona wodę, dopóki nie podda się jej naporowi i nie uwolni jej biegu w dół, co spowoduje wzrastanie entropii. Wzdłuż tej nieregularnej trajektorii większe lub mniejsze fragmenty wszechświata pozostają odizolowane we względnie stabilnym stanie przez okresy, które mogą być niezwykle długie.

Na istoty żywe składają się podobnie splecione procesy. Fotosynteza składuje w roślinach niską entropię słońca. Zwierzęta żywią się tą małą entropią, zjadając je. (Gdybyśmy potrzebowali tylko energii, a nie entropii, kierowalibyśmy się ku skwarowi Sahary, a nie ku kolejnemu posiłkowi).

Wewnątrz każdej żywej komórki złożona sieć procesów chemicznych jest strukturą otwierającą i zamykającą bramy, przez które może rosnąć entropia. Cząsteczki działają jako katalizatory pozwalające splatać się tym procesom; lub odwrotnie – hamują je. Temu wszystkiemu pozwala zachodzić właśnie wzrost entropii w poszczególnych procesach. Życie jest siecią procesów nastawionych na wzrost entropii – procesów pełniących dla siebie nawzajem rolę katalizatorów [P102]. Nie jest prawdą, jak czasem się twierdzi, że życie tworzy struktury, które są szczególnie uporządkowane lub że lokalnie zmniejsza entropię. Życie to proces, który po prostu rozkłada i przyswaja niską entropię pożywienia; to samoorganizujące się burzenie porządku, tak jak w całej reszcie wszechświata.

Nawet najbanalniejszymi zjawiskami rządzi druga zasada termodynamiki. Kamień spada na ziemię. Dlaczego? Często można przeczytać, że dzieje się tak dlatego, że kamień umiejscawia się „w stanie najniższej energii”. Ale dlaczego kamień ustawia się w takim stanie? Dlaczego ma tracić energię, skoro energia jest zachowana? Odpowiedź brzmi: kiedy kamień uderza w ziemię, rozgrzewa się – jego energia mechaniczna zamienia się w ciepło. A stamtąd już nie ma powrotu. Gdyby druga zasada termodynamiki nie obowiązywała, gdyby nie istniało ciepło, gdyby nie było mikroskopowego rojowiska, kamień w nieskończoność by się odbijał – nigdy by nie spoczął.

To entropii, a nie energii, zawdzięczamy to, że kamienie leżą na ziemi, a świat jest w ruchu.

Całe stawanie się kosmosu jest stopniowym procesem burzenia porządku, jak z talią, w której karty są na początku ułożone po kolei, a potem mieszają się w trakcie tasowania. Tyle że nie ma ogromnych rąk, które tasowałyby wszechświat. Sam się tasuje oddziaływaniami pomiędzy różnymi swymi częściami, które w trakcie tego mieszania krok po kroku otwierają się i zamykają. Rozległe obszary pozostają uwięzione w uporządkowanych konfiguracjach, dopóki tu i tam nie otworzą się nowe kanały, przez które wleje się nieład [P103].

Tym, co sprawia, że na świecie coś się dzieje, tym, co pisze jego historię, jest przemożne mieszanie się wszystkiego ze wszystkim, przechodzenie z nielicznych konfiguracji uporządkowanych do niezliczonych nieuporządkowanych. Cały wszechświat jest jak góra, która zapada się

w zwolnionym tempie. Jak budowla, która kawałeczek po kawałeczku się rozpada.

W kontekście wszystkich zdarzeń, od najdrobniejszych po złożone, ten właśnie taniec wszechrosnącej entropii, zasilany małą początkową entropią wszechświata, jest prawdziwym tańcem Śiwy – niszczyciela.

Ślady i przyczyny

To, że entropia w przeszłości była niska, prowadzi do ważnej konsekwencji, która obowiązuje wszędzie i jest kluczowa dla rozróżnienia przeszłości od przyszłości: przeszłość pozostawia po sobie ślady w teraźniejszości.

Ślady są wszędzie. Kratery na Księżycu świadczą o dawnych zderzeniach. Skamieliny ujawniają istnienie pradawnych form życia. Teleskopy pozwalają zobaczyć, jak daleko były kiedyś galaktyki. Książki mieszczą naszą historię. W naszych mózgach roi się od wspomnień.

Tylko dlatego istnieją ślady przeszłości, a nie ma śladów przyszłości, że entropia była dawniej mniejsza. Nie może być innego powodu, ponieważ jedynym źródłem różnic pomiędzy przeszłością a przyszłością jest niska entropia początkowa.

Żeby coś zostawiło po sobie ślad, musi zostać zatrzymane, musi przestać się ruszać, a to może się zdarzyć tylko w ramach procesów nieodwracalnych – czyli przez degradację energii w ciepło. W związku z tym nagrzewają się komputery, grzeją się mózgi, meteory spadające na Księżyc podgrzewają go, nawet gęsie pióro średniowiecznego skryby w benedyktyńskim opactwie nieznacznie rozgrzewało kartę, po której pisał. W świecie bez ciepła wszystko odbijałoby się elastycznie i nie pozostawiało po sobie żadnych śladów [P104].

To właśnie obecność licznych śladów przeszłości wywołuje poczucie, że jest ona ustalona. Brak jakichkolwiek analogicznych śladów przyszłości stwarza zaś wrażenie, że przyszłość jest nieokreślona. Istnienie śladów umożliwia naszemu mózgowi tworzenie rozległych map przeszłych zdarzeń. W odniesieniu do przyszłych zdarzeń nie dysponujemy niczym podobnym. Ten stan rzeczy leży u źródła naszego wrażenia, że możemy swobodnie działać – wybierać pomiędzy różnymi przyszłościami, podczas gdy nie potrafimy oddziaływać na przeszłość.

Niezliczone nieuświadomione bezpośrednio mechanizmy mózgowe („W istocie, nie wiem, dlaczegom tak smutny”, mamrocze do siebie Antonio na początku *Kupca weneckiego* [P105]) zostały w trakcie ewolucji tak zaprojektowane, żeby można było wykonywać obliczenia dotyczące możliwych przyszłości. Nazywamy to „decydowaniem”. Ponieważ obliczenia te przewidują różne alternatywne przyszłości, które mogłyby nastąpić, gdyby teraźniejszość była dokładnie taka, jaka jest, z wyłączeniem określonego szczegółu, naturalnie skłaniamy się ku myśleniu w kategoriach „przyczyn” poprzedzających „skutki”: przyczyną przyszłego zdarzenia jest takie przeszłe zdarzenie, bez którego – w dokładnie takim samym świecie z wyjątkiem owej przyczyny – to przyszłe zdarzenie by nie nastąpiło [P106].

Zgodnie z naszym doświadczeniem pojęcie przyczyny jest więc asymetryczne w czasie: przyczyna poprzedza skutek. W szczególności gdy dostrzegamy, że dwa zdarzenia „mają wspólną przyczynę” [P107], widzimy ją w przeszłości, a nie w przyszłości. Gdy dwie fale tsunami naraz dotrą do dwu sąsiadujących wysp, uważamy, że zdarzenie, które spowodowało powstanie ich obu, zaszło *w przeszłości*. Nie szukamy go w przyszłości. Dzieje się tak jednak nie z powodu istnienia jakiejś magicznej siły „przyczynowości”, skierowanej z przeszłości w przyszłość, ale dlatego, że do zaistnienia małego prawdopodobieństwa współzależności dwóch zdarzeń także potrzeba czegoś mało prawdopodobnego, a *tylko* niska entropia przeszłości jest to w stanie zapewnić. Bo cóż jeszcze mogłoby to gwarantować? Innymi słowy, istnienie wspólnych przyczyn w przeszłości to nic innego jak przejaw niskiej entropii przeszłości. W stanie równowagi cieplnej lub w układzie czysto mechanicznym nie ma kierunku czasu wskazywanego przez przyczynowość.

Podstawowe prawa fizyki nie mówią o „przyczynach”, lecz jedynie o prawidłowościach, a one są symetryczne względem przeszłości i przyszłości. Bertrand Russell w swoim głośnym artykule dobitnie napisał, że „prawo przyczynowości (…) jest reliktem minionych czasów, który utrzymuje się jeszcze – tak jak monarchia – dlatego tylko, że mylnie uchodzi za nieszkodliwy” [P108]. Oczywiście przesadzał, bo to, że nie ma „przyczyn” *na podstawowym poziomie*, nie jest dostatecznym powodem, by zdezaktualizowało się samo pojęcie przyczyny [P109]. Na poziomie

fundamentalnym nie ma też kotów, a mimo to nie przestajemy o nie dbać. Niska entropia przeszłości sprawia, że wciąż jest to pojęcie użyteczne.

Pamięć, przyczyny i skutki, upływ, ustalony charakter przeszłości i nieokreślona przyszłość są tylko nazwami, które nadajemy następstwom statystycznego faktu: małego prawdopodobieństwa przeszłego stanu wszechświata.

Przyczyny, pamięć, ślady, same dzieje stawania się wszechświata, które toczą się nie tylko przez setki i tysiące lat historii ludzkości, lecz przez miliardy lat wielkiej historii kosmosu – wszystko to bierze się stąd, że kilkanaście miliardów lat temu świat był w „szczególnej” konfiguracji [P110].

„Szczególność” zaś jest określeniem względnym – coś jest szczególne z pewnego punktu widzenia. Jest to rozmycie obrazu. Warunkują je oddziaływania danego układu fizycznego z resztą świata. Przyczynowość, pamięć, ślady, dzieje samego świata mogą być zatem zaledwie efektem danej perspektywy, tak jak obroty sfer niebieskich – skutkiem osobliwego punktu widzenia świata…

Tak oto badania nad czasem nieubłaganie kierują nas z powrotem ku nam samym.

Rozdział 12

Aromat magdalenki

Szczęśliwym
i panem siebie
jest ten, kto każdego
dnia rzec może:
„Przeżyłem ten dzień;
czy jutro bóg rozpostrze
horyzont ciemnych chmur,
czy poranek rozświetli
krystalicznym światłem,
nie zmieni nic w naszej biednej
przeszłości,
nic nie uczyni bez pamięci
zdarzeń, które nam przypisała
mknąca chwila”. (III, 29)

Zwróćmy się zatem ku samym sobie, ku naszej roli w odniesieniu do natury czasu. Przede wszystkim czym my, ludzie, jesteśmy? Bytami? Ale przecież świat nie składa się z bytów, lecz ze zdarzeń, które się ze sobą łączą… Kimże więc „ja” jestem?

W *Milinda Pañha*, buddyjskim dialogu z I wieku napisanym w języku pali, Nāgasena, odpowiadając na pytania króla Milindy, zaprzecza swemu istnieniu jako istoty [P111]:

> Król Milinda rzecze do mędrca Nāgaseny: Jak się nazywasz, Mistrzu? Nauczyciel odpowiada: Zwą mnie Nāgasena, o, czcigodny królu; Nāgasena jest niczym innym jak tylko imieniem, określeniem, wyrażeniem, zwykłym słowem – nie ma tu osoby.

Król zdumiał się na tak twardą mowę:

> Jeśli nie istnieje osoba, kim jest ten, kto pożywia się i odziewa? Kto prowadzi cnotliwe życie? Kto zabija, kto kradnie, kto zażywa rozkoszy, kto kłamie? Jeśli nie ma już sprawcy, nie ma też dobra ani zła (…).

Dowodził dalej, że podmiot musi być autonomicznym bytem, którego nie można zredukować do jego części składowych:

> Czy to włosy są Nāgaseną, Mistrzu? Czy może paznokcie albo zęby, albo ciało, albo kości? Czy może jego imię? Czy może odczucia, doznania, świadomość? Czy może żadna z tych rzeczy?

Mędrzec odpowiedział, że ostatecznie „Nāgasena” nie jest niczym z tego, i wydawało się, że król zwyciężył w dyspucie. Skoro Nāgasena nie jest żadną z tych rzeczy, to musi być czymś innym, a to coś innego jest osobą Nāgaseny, który zatem istnieje.

Mędrzec obrócił jednak rozumowanie króla przeciw niemu, pytając, z czego składa się rydwan:

> Czy koła są rydwanem? Czy jest nim dyszel? Czy jest nim platforma? Czy rydwan jest sumą swoich części?

Król odpowiedział ostrożnie, że z pewnością „rydwan” odnosi się jedynie do związku pomiędzy zespołem kół, dyszla i platformy, do ich wspólnego działania i ich relacji względem nas – oraz że nie istnieje byt „rydwan” wykraczający poza te związki i zdarzenia. Nāgasena zatriumfował: tak samo jak „rydwan”, tak „Nāgasena” nie oznacza niczego więcej niż zbiór związków i zdarzeń.

Jesteśmy procesami, zdarzeniami, zebranymi i ograniczonymi czasoprzestrzennie. Jeśli jednak nie jesteśmy osobnym bytem, na czym opiera się nasza tożsamość i jej jedność? Co sprawia, że jestem Carlem, że moje paznokcie i stopy uważa się za części mnie tak samo jak mój gniew i marzenia? Co sprawia, że uważam się za tego samego Carla co wczoraj i jutro; tego, który myśli, cierpi i postrzega?

Różne elementy składają się na to, by łącznie wytworzyć naszą tożsamość. Dla potrzeb wywodu w tej książce ważne są trzy:

1.

Pierwszy jest taki, że każdy z nas utożsamia się z jakimś *punktem widzenia*. Świat odzwierciedla się w każdym z nas przez szerokie spektrum współzależności niezbędnych dla naszego przeżycia [P112]. Każdy z nas jest złożonym procesem odzwierciedlania świata i przetwarzania otrzymywanych informacji w ściśle scalony sposób [P113].

2.

Drugi element, na którym opiera się nasza tożsamość, jest taki sam jak w przypadku rydwanu. W toku odzwierciedlania świata porządkujemy go sobie w byty. Pojmujemy świat, przeprowadzając ciągły, w miarę jednorodny i stabilny proces najlepszego, na jakie nas stać, grupowania i fragmentaryzacji go, po to by lepiej z nim oddziaływać. Łączymy w jeden byt skały, które nazywamy Mont Blanc, i myślimy o nich jako o pojedynczej rzeczy. Kreślimy po świecie linie dzielące go na segmenty; zarysowujemy granice, tworzymy przybliżony obraz świata dzięki rozkładaniu go na kawałki. W taki sposób działa struktura naszego układu nerwowego. Odbiera bodźce zmysłowe i nieustannie przetwarza informacje, generując zachowania. Robi to za pomocą sieci neuronów, które łączą się w plastyczne, dynamiczne, ciągle się zmieniające układy, dążąc do tego, by w jak największym stopniu przewidywać [P114] strumień docierających informacji. W tym celu sieci neuronalne rozwijają się, wiążąc mniej lub bardziej stabilne punkty stałe swojej dynamiki z powtarzającymi się wzorcami odnajdywanymi w dochodzących do nich informacjach lub – pośrednio – w samych procedurach przetwarzania. Taki obraz zdaje się wyłaniać z obecnych, bardzo prężnych badań nad mózgiem [P115]. Jeśli tak rzeczywiście jest, to „rzeczy”, tak jak „pojęcia”, są punktami stałymi dynamiki neuronalnej, które powstają w wyniku powtarzających się struktur wejściowych danych sensorycznych i dalszego ich przetwarzania. Odzwierciedlają one kombinację różnych cech świata, zależną od

powtarzających się w nim struktur oraz od ich znaczenia w oddziaływaniu z nami. Z tego składa się rydwan. Hume z radością przyjąłby te postępy w rozumieniu mózgu.

W szczególności w scalony obraz grupujemy zbiór procesów składających się na żywe organizmy będące *innymi* ludźmi, ponieważ nasze życie ma charakter społeczny, więc wchodzimy z nimi w liczne interakcje. Są one splotami przyczyn i skutków mającymi dla nas ogromne znaczenie. Pojęcie „człowieka” ukształtowaliśmy w następstwie oddziaływania z innymi, podobnymi nam istotami.

Uważam, że właśnie stąd, a nie z introspekcji, bierze się nasze pojęcie siebie samego. Sądzę, że gdy myślimy o sobie jako o konkretnej osobie, uruchamiamy te same obwody mózgowe w odniesieniu do siebie, które wykształciły się do kontaktów z naszymi towarzyszami.

Pierwszym noszonym przeze mnie obrazem mnie samego jako dziecka jest takie dziecko, jakie widziała moja matka. W dużej mierze jesteśmy tym, co widzimy i widzieliśmy na swój temat w oczach swoich przyjaciół, ukochanych i wrogów.

Nigdy nie przekonywała mnie koncepcja, przypisywana Kartezjuszowi, że zasadniczą cechą naszego doświadczenia jest świadomość myślenia, a w konsekwencji istnienia. (Nawet samo przypisanie tej myśli Kartezjuszowi wydaje mi się błędne: *cogito ergo sum* nie jest pierwszym, lecz drugim krokiem kartezjańskiego rozumowania. Pierwszym jest *dubito ergo cogito.* Punktem wyjścia rozumowania nie jest hipotetyczne a priori, bliskie doświadczaniu istnienia w formie podmiotu. To jest tylko racjonalistyczna refleksja a posteriori na temat pierwszego etapu procesu, w którym Kartezjusz musiał wątpić: rozum wskazuje, że jeśli ktoś w coś wątpi, to uprzednio o tym myślał, a skoro tak, to istnieje. Są to rozważania z zasady trzecioosobowe, a nie pierwszoosobowe, mimo ich wewnętrznego charakteru. Punktem wyjścia jest dla Kartezjusza metodyczne powątpiewanie wyrafinowanego intelektualisty, a nie elementarne doświadczenie podmiotowe).

Doświadczenie myślenia o sobie w kategoriach podmiotowych nie ma charakteru pierwotnego – jest to złożony, kulturowo uwarunkowany wniosek, wywiedziony na podstawie wielu innych myśli. Moim pierwotnym doświadczeniem – jeśli uznamy, że określenie to ma jakikolwiek sens – jest postrzeganie świata wokół mnie, a nie mnie samego.

Sądzę, że każdy z nas ma pojęcie „siebie” tylko dlatego, że w pewnym momencie uczymy się przenosić na siebie ideę człowieczeństwa, która stanowi dodatkową cechę, jaką w ciągu tysiącleci wykształciła w nas ewolucja, żebyśmy obcowali z innymi członkami swojej grupy – jesteśmy odbiciem idei nas samych, którą zwraca nam nasz gatunek.

3.

Jest jednak jeszcze trzeci składnik fundamentu naszej tożsamości i prawdopodobnie to on jest zasadniczy. Stanowi on powód, dla którego ta subtelna dyskusja w ogóle toczy się w książce o czasie: to pamięć. Nie jesteśmy zbiorowiskiem niezależnych procesów z kolejnych chwil. Każdy moment naszego istnienia łączy się z naszą przeszłością – tą najbliższą i tą najodleglejszą – osobliwą potrójną helisą: pamięcią. Nasza teraźniejszość roi się od śladów naszej przeszłości. Jesteśmy *historią* samych siebie. Opowieścią. Nie jestem tym chwilowym ciałem zalegającym na kanapie i piszącym literę „a” na laptopie. Jestem swoimi myślami pełnymi śladów wyrażeń, które piszę; jestem pieszczotami mojej matki i pogodną dobrocią, z jaką spokojnie kierował mnie mój ojciec; jestem moimi podróżami z młodości; jestem tym, co lektury złożyły w depozyt w pokładach mojego umysłu; jestem moimi miłościami, chwilami rozpaczy, przyjaźniami; jestem tym, co napisałem i co usłyszałem; twarzami wyrytymi w mojej pamięci. Przede wszystkim jestem zaś tym, kto minutę temu zrobił sobie filiżankę herbaty. Tym, kto chwilę temu napisał na komputerze słowo „pamięć”. Tym, kto właśnie ułożył zdanie, które teraz kończę. Gdyby wszystko to znikło, czy ciągle bym istniał? Jestem tą długą, piszącą się wciąż powieścią. Z niej składa się moje życie.

To pamięć spaja rozproszone w czasie procesy, z których się składamy. W tym sensie istniejemy w czasie. To z tego powodu dziś jestem tą samą osobą co wczoraj. Rozumieć siebie oznacza tyle, co zastanawiać się nad czasem. Żeby jednak zrozumieć czas, trzeba zastanowić się nad sobą.

Niedawno wydano książkę na temat badań nad pracą mózgu pod tytułem *Mózg, władca czasu* [P116]. Omawia ona wiele różnych sposobów, na które mózg oddziałuje z upływającym czasem i wznosi mosty pomiędzy przeszłością, teraźniejszością i przyszłością. W dużej mierze mózg jest

mechanizmem gromadzenia wspomnień o przeszłości w celu ciągłego wykorzystywania ich w przewidywaniu przyszłości. Dzieje się to w wielu skalach czasu, od bardzo krótkich po bardzo długie. Gdy ktoś rzuca nam jakiś przedmiot, nasze dłonie zręcznie poruszają się w miejsce, w którym za parę chwil się on znajdzie – mózg, korzystając z wcześniejszych wrażeń, błyskawicznie wylicza przyszłe położenie lecącego w naszą stronę przedmiotu. W dłuższej skali siejemy ziarna, aby wyrosło z nich zboże. Albo inwestujemy w badania naukowe, żeby w pewnej perspektywie zaowocowały przyrostem wiedzy i nowymi technologiami. Możliwość przewidzenia czegoś w przyszłości w oczywisty sposób zwiększa nasze szanse na przeżycie. W konsekwencji ewolucja dokonała selekcji struktur neuronalnych, które na to pozwalają. Jesteśmy rezultatem tego doboru. Znajdowanie się pomiędzy zdarzeniami przeszłymi i przyszłymi ma kluczowe znaczenie dla naszej struktury psychicznej. Tym jest – dla nas – „płynięcie" czasu.

W architekturze naszego układu nerwowego istnieją pewne podstawowe struktury, które natychmiast rejestrują ruch. Obiekt, który pojawia się w jednym miejscu, a zaraz potem w innym, nie generuje dwu oddzielnych sygnałów, które są osobno przesyłane do mózgu, lecz pojedynczy sygnał powiązany z tym, że patrzymy na rzecz będącą w ruchu. Innymi słowy, nie postrzegamy teraźniejszości – co zresztą nie ma sensu w układzie działającym w skończonych skalach czasu – ale raczej coś, co się wydarza i rozciąga w czasie. W naszym mózgu dokonuje się zagęszczenie rozciągłości czasu w postrzeganie jego trwania.

Intuicja ta sięga starożytności. Do dziś cenione są rozmyślania św. Augustyna na ten temat. W księdze XI *Wyznań* zadaje on sobie pytanie o naturę czasu i – choć przerywa refleksje wykrzyknieniami w stylu ewangelickiego kaznodziei, co dla mnie jest dość męczące – przedstawia klarowną analizę naszej zdolności postrzegania czasu. Zauważa, że zawsze znajdujemy się w teraźniejszości, ponieważ przeszłość już przeszła, a zatem nie istnieje, a przyszłość jeszcze nie przyszła, więc również nie istnieje. Pyta więc, jak możemy być świadomi długości trwania czasu – a nawet zdolni ją oszacować – skoro zawsze jesteśmy wyłącznie w teraźniejszości, która z definicji jest chwilowa. Jakim sposobem dochodzimy do tak wyraźnej wiedzy o przeszłości, o czasie, jeśli zawsze znajdujemy się

w teraźniejszości? Tu i teraz nie ma przeszłości ani przyszłości. Więc gdzie są? Augustyn kończy wnioskiem, że są w nas:

> W tobie, umyśle mój, mierzę czasy. Nie sprzeciwiaj mi się, że tak jest; nie pozwól, by ci się sprzeciwiał nawał twoich wrażeń. W tobie mierzę czasy – tak twierdzę. Mierzę wrażenie, jakie rzeczy przemijające w tobie zostawiają i które pozostaje, gdy one przeminęły; to wrażenie jako obecne mierzę, a nie rzeczy, które przeszły; wrażenie mierzę, gdy mierzę czasy. A więc albo czas jest wrażeniem, albo to, co mierzę, nie jest czasem [P117].

Koncepcja ta jest o wiele bardziej przekonująca, niż wydaje się przy pierwszym czytaniu. Można mówić, że mierzy się czas zegarem. Wymaga to jednak odczytania jego wskazań w dwóch różnych chwilach, a to jest niemożliwe, ponieważ zawsze znajdujemy się tylko w jednym momencie, nigdy w dwóch. W teraźniejszości widzimy jedynie teraźniejszość; możemy dostrzegać coś, co interpretujemy jako *ślad* przeszłości, ale istnieje zasadnicza różnica pomiędzy widzeniem śladów przeszłości a postrzeganiem upływu czasu – i Augustyn zdaje sobie sprawę, że źródło tej różnicy, świadomość mijającego czasu, ma charakter wewnętrzny. Jest nierozerwalnie związane z umysłem. To ślady pozostawione w mózgu przez przeszłość.

Augustyn w piękny sposób prezentuje tę myśl. Opiera się on na naszym doświadczaniu muzyki. Gdy słuchamy hymnu, znaczenie bieżącego dźwięku nadawane jest przez inne dźwięki przed i po nim. Muzyka nie może się wydarzać bez czasu, jeśli jednak zawsze znajdujemy się w chwili obecnej, to jakim sposobem można ją słyszeć? Staje się to możliwe, jak zauważa Augustyn, ponieważ nasza świadomość opiera się na pamięci i przewidywaniu. Pieśń jest w pewien sposób obecna w naszym umyśle w scalonej postaci, spojona przez coś – mianowicie przez to, co uważamy za czas. A zatem tym właśnie jest czas: znajduje się całkowicie w teraźniejszości, w naszych umysłach, jako pamięć i przewidywanie.

Koncepcja, że czas miałby istnieć jedynie w umyśle, z pewnością nie zyskała dominującej pozycji w myśli chrześcijańskiej. Co więcej, pojawiła się wśród twierdzeń jawnie uznanych za heretyckie przez biskupa Paryża Étienne’a Tempiera w 1277 roku. W jego wykazie potępionych przekonań znajdujemy:

> *Quod evum et tempus nichil sunt in re, sed solum in apprehensione* [P118].

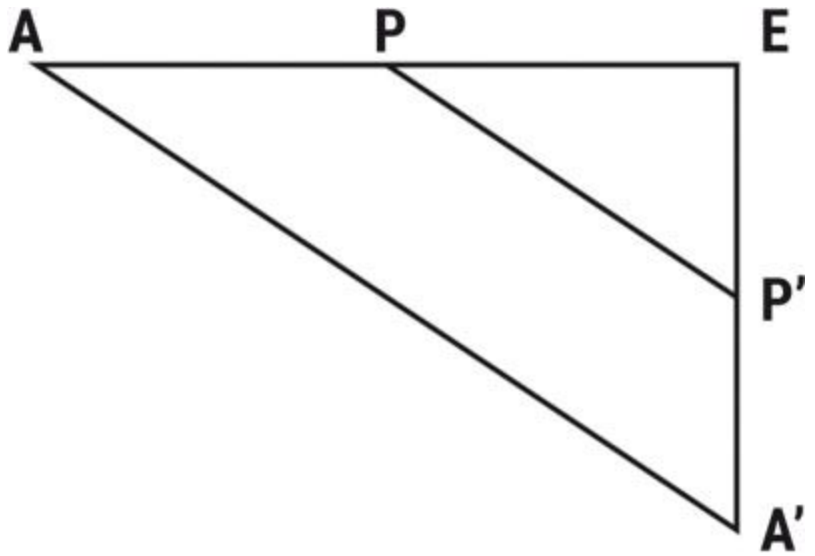
W tłumaczeniu: „[Uznaje się za herezję utrzymywanie, że] wiek i czas nie istnieją w rzeczywistości, lecz jedynie w umyśle”. Być może popadam więc w mojej książce w herezję… Jednak zważywszy na to, że Augustyna wciąż uważa się za świętego, zakładam, że nie powinienem się tym zbytnio martwić. Chrześcijaństwo jest, mimo wszystko, dość elastyczne…

Mogłoby się wydawać, że prosto jest obalić tezę Augustyna, wskazując, że ślady przeszłości, które znajduje on w sobie, nie mogłyby się tam pojawić, gdyby nie były odzwierciedleniem prawdziwej struktury świata zewnętrznego. Na przykład w XIV wieku William Ockham utrzymywał w swoim *Philosophia naturalis*, że człowiek obserwuje zarówno ruch nieba, jak i ten w nim samym, a zatem postrzega czas przez swe współistnienie ze światem. Setki lat później Husserl nalegał – słusznie – aby rozróżniać czas fizyczny od „wewnętrznej świadomości czasu”: jeśli zdrowo myślący przyrodnik pragnie uniknąć utonięcia w bezużytecznych wirach idealizmu, na pierwszym miejscu stawia świat fizyczny, a świadomość – mniej lub bardziej rozumianą – uznaje za określaną przez ów świat. Jest to w pełni uzasadnione zastrzeżenie, pod warunkiem wszakże, iż fizyka potwierdza, że zewnętrzny bieg czasu jest rzeczywisty, powszechny i zgodny z naszymi intuicjami. Jeśli jednak fizyka pokazuje, że taki czas *nie* jest elementarną częścią rzeczywistości, czy nadal możemy ignorować spostrzeżenie św. Augustyna i traktować je jako nieistotne dla prawdziwej natury czasu?

Przeczucia dotyczące *wewnętrznego*, a nie *zewnętrznego* charakteru czasu wielokrotnie pojawiały się w myśli filozoficznej Zachodu. Kant omawia naturę czasu i przestrzeni w *Krytyce czystego rozumu*, gdzie obie interpretuje jako aprioryczne postaci wiedzy, czyli coś, co ma związek nie tylko z obiektywnym światem, lecz również ze sposobem pojmowania go przez podmiot. Zauważa on też, że przestrzeń kształtowana jest przez nasz zmysł *zewnętrzny* – czyli, nazwijmy to, nasz sposób porządkowania rzeczy, które widzimy w świecie *poza obrębem siebie* – podczas gdy czas kształtowany jest zmysłem *wewnętrznym* – czyli sposobem porządkowania stanów wewnętrznych, *w nas* samych. Ponownie podstawy czasowej struktury wszechświata należy szukać w czymś, co pozostaje w ścisłym związku z naszym sposobem myślenia i postrzegania, z naszą świadomością. Wniosek ten pozostaje zresztą prawdziwy bez konieczności wikłania się w kantowski transcendentalizm.

Husserl powtarza argumentację Augustyna, gdy opisuje kształtowanie się doznań jako „retencję” – i jak jego poprzednik używa metafory słuchania melodii [P119] (w międzyczasie na świecie pojawiła się burżuazja i kościelne hymny zostały wyparte przez melodie). W chwili, w której słyszymy jakiś dźwięk, dźwięk poprzedni jest przechowywany (jest w „retencji”), następnie do retencji zostaje dołączony również ten bieżący – i tak dalej w taki sposób, że teraźniejszość zawiera uszeregowany, ciągły ślad przeszłości, który stopniowo coraz bardziej się zaciera [P120]. Według Husserla właśnie przez ten proces retencji zjawiska „ustanawiają czas”.

Od Husserla zaczerpnięty jest poniższy diagram. Oś pozioma, od A do E, przedstawia upływ czasu; oś pionowa, od E do A’, to proces przechowywania (retencji) chwili A, w którym stopniowo A przechodzi w A’. Zjawiska ustanawiają czas, ponieważ w każdej chwili E istnieją P’ i A’. Co ciekawe, Husserl nie odnajduje źródła fenomenologii czasu w hipotetycznej obiektywnej sekwencji zjawisk (linii poziomej), lecz raczej w pamięci (podobnej do antycypacji, nazywanej przez Husserla „protencją”), a więc w pionowej linii tego diagramu. Chcę tu podkreślić, że to podejście pozostaje poprawne (w ramach filozofii przyrody) nawet w takim świecie materialnym, w którym nie ma fizycznego, globalnego, liniowo uporządkowanego czasu, a jedynie ślady wytworzone przez zmieniającą się entropię.



W ślad za Husserlem Martin Heidegger pisał – na ile tylko moje uwielbienie jasności i przejrzystości wywodów Galileusza pozwala mi odszyfrować celową mętność języka Heideggera – że „czas temporalizuje się tylko w tym stopniu, w jakim jest ludzki” [P121]. Również według niego czas jest czasem człowieka, czasem na działanie, na to, w co ludzie się angażują. I to pomimo że później – zainteresowany, czym bycie jest dla człowieka (dla „istoty, która stawia pytanie o istnienie”) [P122] – dochodzi do uznania, że wewnętrzna świadomość czasu stanowi horyzont wyznaczający samo istnienie.

Te intuicje określające stopień, do którego czas jest integralną częścią subiektywnego doświadczenia, pozostają istotne również w każdym rozsądnym naturalizmie, który traktuje podmiot jako część przyrody i nie boi się mówić o „rzeczywistości” ani jej badać – a przy tym uznaje, że nasze pojmowanie i intuicje podlegają radykalnemu przesiewowi przez sposób działania ograniczonego instrumentu, jakim jest nasz mózg. Ów mózg jest częścią tej rzeczywistości, która w konsekwencji zależy od oddziaływania pomiędzy światem zewnętrznym a strukturami, za pomocą których działa umysł.

Sam umysł jest jednakże działaniem mózgu. Z tego, co zaczynamy (powoli) rozumieć na ten temat, wynika, że podstawą funkcjonowania całego naszego mózgu jest zbiór *śladów* przeszłości pozostawionych w synapsach łączących neurony. Tysiące synaps jest nieustannie tworzonych, a potem usuwanych (zwłaszcza w trakcie snu), pozostawiając rozmazane odbicie tego, co kiedyś oddziaływało na nasz układ nerwowy. Obraz ten jest bez wątpienia rozmyty – wystarczy pomyśleć o milionach szczegółów, które w każdej chwili widzą nasze oczy, a które *nie* zostają w pamięci – ale zawiera całe światy.

Bezkresne światy.

To te światy, które każdego ranka, w oszołomieniu, ponownie odkrywa młody Marcel na pierwszych stronach *W poszukiwaniu straconego czasu* – w mętliku tego mgnienia, z którego jak bańka powietrza z głębin wyłania się świadomość [P123]. To ten świat, którego rozległe obszary otwierają się, gdy smak magdalenki przywołuje w nim wrażenia z Combray. Ogromny świat, mapa, którą Proust niespiesznie rozwija na trzech tysiącach stronic swej wielkiej powieści. Powieści – należy dodać – niebędącej narracją

zdarzeń ze świata, lecz opisem tego, co zawiera się w pamięci jednej osoby. Od aromatu magdalenki na początku do ostatniego słowa – „czas” – w ostatniej części, *Czasie odnalezionym*, książka ta jest niczym więcej jak nieuporządkowaną, drobiazgową włóczęgą pośród synaps mózgu Marcela.

Pomiędzy nimi Proust odnajduje bezgraniczną przestrzeń i nieprzebrane zatrzęsienie szczegółów, zapachów, okoliczności, wrażeń, refleksji, opisów, kolorów, przedmiotów, imion, spojrzeń, emocji… wszystko to w fałdach kory mózgowej pomiędzy uszami Marcela. To właśnie jest znany nam z doświadczenia upływ czasu: zagnieżdżony tam, w środku, w naszym wnętrzu, w absolutnie niezbędnej obecności śladów przeszłości w naszych neuronach.

Proust nie mógł wyrazić tego dobitniej niż w pierwszym tomie: „rzeczywistość kształtuje się tylko w pamięci” [P124]. A pamięć z kolei jest zbiorem śladów, pośrednim wytworem dezorganizowania się świata, tego malutkiego, zapisanego wcześniej równania: $\Delta S \geq 0$, które mówi, że wszechświat był w przeszłości w „szczególnej” konfiguracji i z tego powodu pozostawił (i pozostawia) po sobie ślady. „Szczególnej” być może tylko względem pewnych rzadkich podukładów – takich jak my sami.

Jesteśmy opowieściami zawartymi w obszarze tych dwudziestu skomplikowanych centymetrów za naszymi oczyma, kreskami szkicowanymi przez ślady pozostawiane przy (wielokrotnym) mieszaniu się rzeczy w świecie, nastawieni na przewidywanie zdarzeń w przyszłości, w kierunku rosnącej entropii, i zamieszkującymi dość szczególny zakątek w tym olbrzymim, chaotycznym wszechświecie.

Ta przestrzeń – pamięć – połączona z nieustannym procesem przewidywania jest źródłem postrzegania czasu jako czasu, a nas samych jako nas samych [P125]. Zastanówmy się: introspekcja pozwala nam z łatwością wyobrazić sobie siebie bez istnienia przestrzeni lub materii, ale czy pozwala nam wyobrazić sobie istnienie nie w czasie? [P126]

To względem tego układu fizycznego, do którego należymy, z powodu jego szczególnego oddziaływania z resztą wszechświata oraz dzięki temu, że pozwala on na tworzenie śladów, a także dzięki temu, że my, jako istoty fizyczne, jesteśmy przede wszystkim pamięcią i przewidywaniem, otwiera się przed nami jak rozświetlona polana w lesie perspektywa czasu [P127] – perspektywa czasu, który darowuje nam ograniczony dostęp do świata [P128].

Czas jest zatem postacią, pod którą my, istoty o mózgach złożonych zasadniczo z pamięci i antycypacji, oddziałujemy ze światem. Jest on źródłem naszej tożsamości [P129].

Jak również źródłem cierpienia.

Budda podsumował to w kilku maksymach, które miliony ludzi przyjęło za swój życiowy fundament: narodziny są cierpieniem, starzenie się jest cierpieniem, choroba jest cierpieniem, śmierć jest cierpieniem, zbliżenie z tym, czego nienawidzimy, jest cierpieniem, oddalenie od tego, co kochamy, jest cierpieniem, niemożność uzyskania tego, czego pożądamy, jest cierpieniem [P130]. Wszystko to przynosi cierpienie, ponieważ musimy stracić coś, co mamy, i do czego jesteśmy przywiązani. Ponieważ wszystko, co się zaczyna, musi się kończyć. Przyczyna naszego cierpienia nie leży w przeszłości czy przyszłości – jest tutaj, teraz, w naszej pamięci, w naszych oczekiwaniach. Pragniemy nieprzemijalności, boli nas upływ czasu, cierpimy na czas. Czas jest cierpieniem.

Tym właśnie jest czas i z tego powodu w równej mierze się nim fascynujemy, co trapimy – być może również z tego powodu, drogi czytelniku, droga czytelniczko, bracie, siostro, trzymasz w ręku tę książkę. Ponieważ nic innego jak tylko przelotna struktura wszechświata, efemeryczna fluktuacja w jego wydarzaniu się, zdolna jest dać początek temu, kim jesteśmy – istotom zbudowanym z czasu. To ona – ta, której zawdzięczamy bycie, która obdarza nas drogocennym istnieniem, która pozwala nam stwarzać przelotne złudzenie trwałości – jest źródłem cierpienia.

Muzyka Straussa i słowa Hofmannsthala ujmują to z olśniewającą delikatnością [P131]:

> Pamiętam dziewczynkę (…)
> Lecz jakże to może być,
> że kiedyś byłam małą Resi,
> a wtem stałam się staruszką?
> Jeśli dobry Bóg tak chce (…) czemu pozwala mi to widzieć?
> Czemu przede mną tego nie ukryje?
> Wszystko to jest tajemnicą, tak wielką tajemnicą (…)
> Czuję kruchość wszystkiego, co mija.
> Całym sercem czuję,
> że niczego nie powinniśmy się trzymać,
> że wszystko przecieka przez palce,

że wszystko, po co sięgamy, rozwiewa się,
wszystko rozpływa się jak mgła i sen (…)
Dziwny jest czas.
Gdy go nam nie trzeba, jest niczym,
aż nagle nie ma nic innego.
Jest wszędzie wokół nas. Jest też w nas w środku.
Sączy się w nasze twarze.
Sączy się do lustra, płynie w moich skroniach.
I między mną i tobą płynie bezgłośnie jak klepsydra.
Och, Quin Quin!
Nieraz czuję, jak płynie niepohamowany.
Nieraz wstaję pośród nocy
i zatrzymuję wszystkie zegary…

Rozdział 13

Źródła czasu

Być może wiele pór roku
bóg jeszcze nam szykuje,
a może ostatnią będzie
ta zima,
co czarne fale Tyrreńskiego Morza
trzaska na chropawych białych skałach.
O, bądźże ty mądry. Lej wino
i w ten krąg ulotny
wpleć z dawna żywione nadzieje. (I, 11)

Zaczęliśmy od znajomego obrazu czasu jako czegoś, co płynie jednostajnie i jednorodnie w całym wszechświecie, a wraz z jego biegiem wszystko się wydarza. Od wyobrażenia, że dla całego kosmosu istnieje pewna teraźniejszość, „teraz”, które stanowi rzeczywistość. Przeszłość jest dla wszystkich ustalona, jest „przeszła”, bo już się wydarzyła. Przyszłość stoi otworem, jest jeszcze nieokreślona. Rzeczywistość przepływa z przeszłości przez teraźniejszość ku przyszłości, a rozwój wypadków pomiędzy przeszłością a przyszłością jest z natury asymetryczny. Taką strukturę, jak myśleliśmy, mają fundamenty wszechświata.

Ten znajomy obraz rozpadł się, okazał się jedynie przybliżeniem znacznie bardziej złożonej rzeczywistości.

Teraźniejszość wspólna całemu wszechświatowi nie istnieje (rozdział 3). Zdarzenia nie są uporządkowane jako przeszłości, teraźniejszości i przyszłości; są tylko „częściowo” uporządkowane. Teraźniejszość istnieje w pobliżu nas, ale nie ma nic „teraźniejszego” w jakiejś odległej galaktyce. Teraźniejszość jest zjawiskiem miejscowym, a nie globalnym.

Różnica pomiędzy przeszłością a przyszłością nie występuje w podstawowych równaniach rządzących zdarzeniami we wszechświecie (rozdział 2). Wynika ona jedynie z tego, że w przeszłości świat znalazł się w stanie, który przy naszym rozmytym postrzeganiu wygląda na szczególny.

Czas biegnie z różną szybkością w zależności od tego, gdzie się znajdujemy i z jaką prędkością sami się poruszamy. Im bliżej jesteśmy jakiejś masy (rozdział 1) lub im szybciej się poruszamy (rozdział 3), tym jest wolniejszy – czas pomiędzy dwoma zdarzeniami nie ma jednej jedynej długości, jest wiele możliwych.

Rytmy, zgodnie z którymi płynie czas, wyznacza pole grawitacyjne, które jest rzeczywistym bytem, mającym własną dynamikę opisaną równaniami Einsteina. Jeśli pominie się efekty kwantowe, czas i przestrzeń są właściwościami ogromnej galarety, w której jesteśmy zanurzeni (rozdział 4).

Jednakże wszechświat *jest kwantowy* i galaretowata czasoprzestrzeń również jest tylko przybliżeniem. W fundamentalnej gramatyce wszechświata brak jest zarówno przestrzeni, jak i czasu – istnieją jedynie procesy przekształcające jedne wielkości fizyczne w inne, co pozwala obliczać zależności i prawdopodobieństwa (rozdział 5).

Na najbardziej podstawowym poziomie, jaki obecnie znamy, mało co przypomina taki czas, jakim go doświadczamy. Nie ma żadnej wyróżnionej zmiennej „czas”, nie ma różnicy między przeszłością i przyszłością, nie ma czasoprzestrzeni (część druga książki). Niemniej potrafimy sformułować równania opisujące świat. W równaniach tych zmienne ewoluują względem siebie nawzajem (rozdział 8). Nie jest to świat „statyczny” czy „blokowy”, w którym wszelka zmiana jest złudzeniem (rozdział 7) – przeciwnie, jest to w większym stopniu świat zdarzeń niż rzeczy (rozdział 6).

Do tego miejsca była to podróż w jedną stronę, ku wszechświatowi bezczasowemu.

Podróż powrotna była natomiast próbą zrozumienia, jak z takiego bezczasowego wszechświata może się wyłaniać nasze poczucie upływu czasu (rozdział 9). Niespodzianką było spostrzeżenie, że w tym wynurzaniu się znajomych własności czasu sami odgrywamy rolę. Z *naszej perspektywy* – perspektywy stworzeń, które stanowią małą cząstkę wszechświata – wydaje się, że ten świat płynie w czasie. Oddziałujemy z wszechświatem

tylko fragmentarycznie i z tego powodu widzimy go nieostro. Na to rozmycie nakłada się jeszcze kwantowa nieoznaczoność. Wynikająca z tego niewiedza wyznacza istnienie pewnej szczególnej zmiennej – czasu cieplnego (rozdział 9) – oraz entropii, wielkości, która wyraża stopień naszej niewiedzy.

Być może należymy do pewnego szczególnego podzbioru wszechświata, który oddziałuje z jego resztą w taki sposób, że ta entropia jest mniejsza w jednym kierunku naszego czasu cieplnego. Kierunkowość czasu jest zatem realna, ale zależna od punktu widzenia (rozdział 10): entropia wszechświata *względem nas* rośnie wraz z naszym czasem cieplnym. Zachodzenie zjawisk postrzegamy jako uporządkowane zgodnie z tą zmienną – którą nazywamy zwyczajnie „czasem” – a wzrost entropii odróżnia nam przeszłość od przyszłości i prowadzi do ewolucji kosmosu. To on warunkuje istnienie pozostałości, śladów i wspomnień przeszłości (rozdział 11). My, ludzie, jesteśmy rezultatem tej wielkiej historii przyrastania entropii, spajani pamięcią, którą te ślady umożliwiają. Każdy z nas jest scaloną istotą, jednostką, ponieważ odzwierciedlamy świat, ponieważ ukształtowaliśmy obraz scalonego bytu, wchodząc w interakcje z podobnymi sobie istotami oraz ponieważ taką perspektywę na świat daje scalona pamięć (rozdział 12). Stąd pochodzi to, co nazywamy „płynięciem” czasu. To właśnie słyszymy, gdy słuchamy mijającego czasu.

Zmienna „czas” jest jedną z wielu zmiennych, które opisują wszechświat. Należy do zmiennych pola grawitacyjnego (rozdział 4). W naszej skali nie rejestrujemy fluktuacji kwantowych (rozdział 5), dzięki czemu możemy myśleć o czasoprzestrzeni, jakby była ustalona, jak o wielkim Einsteinowskim mięczaku; w naszej skali jego ruchy są niewielkie i pomijalne. Myślimy więc o czasoprzestrzeni, jakby była sztywna jak stół. Stół taki ma wymiary: jeden nazywamy przestrzenią, a drugi, wzdłuż którego rośnie entropia, czasem. W naszej codzienności poruszamy się z małymi prędkościami w porównaniu do prędkości światła, więc nie dostrzegamy rozbieżności pomiędzy odmiennymi czasami własnymi różnych zegarów, a różnice tempa upływu czasu w różnych odległościach od danej masy są zbyt małe, abyśmy je zauważali.

Ostatecznie więc zamiast o wielu możliwych czasach możemy mówić o jednym – o czasie, którego doświadczamy – jednorodnym, powszechnym i uporządkowanym. Jest to przybliżenie przybliżenia przybliżenia opisu

świata, poczynione ze specyficznego punktu widzenia ludzi, którzy są zależni od wzrostu entropii i podlegają upływowi czasu. Ludzi – nas – dla których, jak powiadał Kohelet [1], jest czas rodzenia i czas umierania.

Taki jest dla nas czas – złożony, wielowarstwowy, z wieloma różnorodnymi własnościami wynikającymi z różnych przybliżeń.

Wiele dyskusji na temat czasu wikła się w niejasnościach, ponieważ nie dostrzega się w nich owej złożoności i wielowarstwowości czasu. Robi się w nich błąd polegający na niedostrzeganiu, że te różne warstwy są wzajemnie niezależne.

Taka jest fizyczna struktura czasu – tak ja ją rozumiem, przez całe życie obracając się wokół tych zagadnień.

Wiele części tej opowieści jest pewnych, inne są wiarygodne, jeszcze inne to domysły ryzykowane w ramach próby zrozumienia całości.

Praktycznie wszystkie sprawy opisane w pierwszej części książki zostały potwierdzone w niezliczonych eksperymentach: spowalnianie czasu wraz z wzrostem wysokości nad ziemią lub prędkości, nieistnienie teraźniejszości, związek czasu z polem grawitacyjnym, dynamicznie zmieniające się zależności pomiędzy różnymi czasami, brak kierunku czasu w fundamentalnych równaniach, związek entropii z rozmyciem obrazu świata. Wszystko to zostało ustalone ponad wszelką wątpliwość [2].

Przekonanie, że pole grawitacyjne wykazuje własności kwantowe, jest powszechnie podzielane, chociaż obecnie opiera się jedynie na przesłankach teoretycznych, a nie dowodach eksperymentalnych.

Nieobecność zmiennej czasu w fundamentalnych równaniach, jak omawiam to w drugiej części książki, jest wiarygodna – ale gorące dyskusje nad postacią tych równań wciąż się toczą. To, że źródło czasu, czasu cieplnego, leży w nieprzemienności kwantowej oraz że obserwowany wzrost entropii zależy od naszych oddziaływań z wszechświatem, stanowi koncepcje, które osobiście uważam za fascynujące, niemniej absolutnie nie zaliczają się one do potwierdzonych czy powszechnie przyjętych.

W pełni wiarygodne jest natomiast ogólne stwierdzenie, że czasowa struktura wszechświata różni się od naszego naiwnego wyobrażenia o niej. Wyobrażenie to sprawdza się w życiu codziennym, ale nie w rozumieniu

wszechświata ani w jego szczegółach, ani w jego kosmicznym ogromie. Najprawdopodobniej nie wystarcza nawet do zrozumienia naszej własnej natury, ponieważ sekret czasu krzyżuje się z sekretem naszej tożsamości i tajemnicą świadomości.

Zagadka czasu trapiła nas od zawsze, wzbudzając głębokie uczucia – tak głębokie, że potrafiły zasilić całe systemy filozoficzne i religijne.

Sądzę, jak zasugerował Hans Reichenbach w *The Direction of Time* – jednej z najklarowniej napisanych książek o naturze czasu – że właśnie po to, by uciec od lęków związanych z czasem, Parmenides starał się zanegować jego istnienie, Platon wyobrażał sobie świat idei znajdujących się poza czasem, a Hegel mówił o chwili, w której Duch wykracza poza czasowość i poznaje siebie całościowo. To w celu ucieczki od lęgnącego się w nas niepokoju wyobraziliśmy sobie istnienie „wieczności”, osobliwego świata poza czasem, który miałby być zamieszkany przez bogów, Boga lub dusze nieśmiertelne [3]. Do wznoszenia katedr filozofii bardziej przyczyniło się nasze głęboko emocjonalne nastawienie do czasu niż logika czy rozum. Przeciwne nastawienie emocjonalne, otoczenie czasu czcią – przez Heraklita czy Bergsona – dało początek równie wielu filozofiom, nie zbliżając nas ani na krztę do zrozumienia, czym jest czas.

Fizyka pomaga przeniknąć kolejne warstwy tej tajemnicy. Pokazuje, jak czasowa struktura świata różni się od tego, jak ją postrzegamy. Pozwala nam żywić nadzieję, że istotę czasu możemy badać wolni od przesłaniającej ją mgły emocji.

Jednakże wygląda na to, że poszukiwania czasu, sukcesywnie oddalające się od nas samych, doprowadziły nas w końcu do odkrycia czegoś o sobie – zupełnie jak Kopernik, który badając ruchy niebios, doszedł do tego, jak Ziemia rusza się pod jego stopami. Być może w ostatecznej analizie wymiar emocjonalny czasu wcale nie jest mgławą zasłoną, która powstrzymuje nas przed obiektywnym pojęciem jego istoty.

Być może właśnie emocja czasu stanowi to, czym czas *jest* dla nas.

Nie wydaje mi się, żeby do zrozumienia było cokolwiek więcej. Można zadawać dalsze pytania, ale należy być ostrożnym z takimi, których nie da się właściwie sformułować. Skoro odnaleźliśmy wszystkie aspekty czasu, o których da się mówić, to odnaleźliśmy czas. Możemy wykonywać niezdarne gesty ku jakiemuś bezpośredniemu poczuciu czasu,

przekraczającemu to, co jesteśmy w stanie wypowiedzieć („No dobrze, ale czemu czas »mija«?”), ale uważam, że w tym momencie wprowadzamy jedynie zamęt, próbując w nieuprawniony sposób zmieniać przybliżone słowa w rzeczy. Często, gdy nie potrafimy precyzyjnie sformułować problemu, wynika to nie z tego, że jest on głęboki, ale że jest fałszywy.

Czy w przyszłości uda nam się te sprawy pojąć lepiej? Tak myślę. Stopień naszego rozumienia przyrody zawrotnie wzrósł w ciągu stuleci i wciąż nie przestajemy dowiadywać się nowych rzeczy. Uchyliliśmy rąbka tajemnicy czasu. Dostrzegamy świat bezczasowy. Potrafimy oczami wyobraźni zobaczyć fundamentalną strukturę wszechświata, w której znany nam czas przestaje istnieć – jak McCartneyowski głupiec na wzgórzu, który patrząc na zachód słońca, widzi obracającą się Ziemię. Zaczynamy dostrzegać, że sami jesteśmy czasem. Jesteśmy tą przestrzenią, tą leśną polaną rozświetloną śladami pamięci spośród połączeń naszych neuronów. Jesteśmy pamięcią. Jesteśmy nostalgią. Tęsknimy za przyszłością, która nie nadejdzie. Ta polana, rozpostarta w ten sposób przez pamięć i oczekiwanie, jest czasem – niekiedy źródłem cierpienia, lecz przede wszystkim oszałamiającym darem.

Oto drogocenny, pozwalający nam istnieć cud, który odkryła przed nami nieskończona gra kombinacji. Uśmiechnijmy się teraz. Możemy powrócić do łagodnego zanurzenia się w czasie – naszym ograniczonym czasie – do delektowania się intensywną wyrazistością każdej ulotnej i drogiej nam chwili tego krótkiego kręgu istnienia.

1. Ks. Koheleta 3:2. [wróć]
2. Żartobliwe, zajmujące, ale kompetentne przedstawienie tych cech czasu można znaleźć w: C. Callender, R. Edney, Introducing Time, Icon Books, Cambridge 2001.

   Siostra snu [wróć]
3. Jest niezwykle interesujące, że to spostrzeżenie Reichenbacha – w fundamentalnym tekście o ujęciu czasu w filozofii analitycznej – brzmi w tak zbliżony sposób do idei, z których wyrosła refleksja Heideggera. Następująca potem rozbieżność zdań jest ogromna: Reichenbach szuka w fizyce tego, co wiemy o czasie w świecie, którego jesteśmy częścią, Heidegger zaś zajmuje się tym, czym jest czas w egzystencjalnym doświadczeniu ludzkim. Dwa wynikające stąd obrazy czasu zupełnie się od siebie różnią. Czy koniecznie są jednak nie do pogodzenia? Czemu miałyby takie być? Dotyczą one dwu różnych zagadnień: z jednej strony faktycznych struktur czasu w świecie, które okazują się coraz bardziej dziurawe, gdy ogarniamy spojrzeniem szersze pole; z drugiej strony podstawowej cechy, którą struktura czasu ma *wobec nas*, wobec naszego skonkretyzowanego poczucia „bycia na świecie”. [wróć]

Siostra snu

Krótki horyzont naszych dni,
Sestiuszu,
nie pozwala nam żywić
zbyt długich nadziei. (I, 4)

W trzeciej części wielkiego hinduskiego eposu *Mahābhārata* potężny duch o imieniu Jaksza pyta najstarszego i najmędrszego z Pandawów, Judhiszthirę, jaka jest największa ze wszystkich tajemnic. Udzielona odpowiedź rozbrzmiewa przez tysiąclecia: „Każdego dnia umierają nieprzebrane rzesze ludzi, a jednak ci, którzy zostają, żyją, jakby byli nieśmiertelni” [1].

Nie chciałbym żyć, jakbym był nieśmiertelny. Nie boję się śmierci. Boję się cierpienia. Boję się też starości, choć teraz nieco mniej, gdy obserwuję, jak spokojna i pogodna jest u mojego ojca. Boję się utraty sił i braku miłości. Ale śmierć mnie nie niepokoi. Nie czułem wobec niej strachu, gdy byłem młody, ale myślałem wtedy, że to dlatego, że stanowi tak odległą perspektywę. Teraz jednak, gdy mam sześćdziesiąt lat, strach wciąż nie nadszedł. Kocham życie, choć życie to również zmaganie, cierpienie i ból. Myślę o śmierci w kategoriach dobrze zasłużonego odpoczynku. We wspaniałej kantacie BMV 56 Bach nazywa ją siostrą snu. Łaskawą siostrą, która szybko przyjdzie zamknąć mi oczy i pogładzić mnie po głowie.

Hiob umarł „syty swoich dni” [2]. To cudowne wyrażenie. Również chciałbym osiągnąć poczucie „sytości dni” i z uśmiechem domknąć krótki krąg, jakim jest nasze życie. Nadal potrafię się nim cieszyć – odbiciem księżyca na morzu, pocałunkami kobiety, którą kocham, jej obecnością nadającą wszystkiemu sens. Wciąż potrafię delektować się zimowymi niedzielnymi popołudniami w domu, gdy leżąc na kanapie i zapełniając kartki symbolami i wzorami, marzę o pochwyceniu kolejnego niewielkiego sekretu spośród tysięcy, które wciąż nas otaczają… Z radością myślę

o dalszym kosztowaniu z tego złotego kielicha, o obfitości życia czułego i wrogiego, klarownego i enigmatycznego, niespodziewanego… Zdążyłem już jednak głęboko zaczerpnąć słodkogorzkiego napoju z tej czary i gdyby przyszedł po mnie teraz anioł ze słowami „Już czas, Carlo”, nie poprosiłbym o możność zostania nawet tylko tyle dłużej, żeby dokończyć to zdanie. Uśmiechnąłbym się i poszedł za nim.

Nasz strach przed śmiercią, mam wrażenie, jest pomyłką ewolucji. Wiele zwierząt instynktownie reaguje popłochem na widok zbliżającego się drapieżcy. To zdrowy odruch, który pozwala im uciec przed zagrożeniem. Jednakże to przerażenie trwa jedynie chwilę – nie jest czymś, co ciągle im towarzyszy. Dobór naturalny wytworzył wielkie małpy z przerośniętymi płatami czołowymi i przesadną zdolnością przewidywania przyszłości. Z pewnością to przydatny przywilej, postawił nam on wszakże przed oczyma widok nieuchronnej śmierci, to zaś wyzwala instynkt strachu i ucieczki. Zasadniczo uważam, że bojaźń śmierci jest skutkiem przypadkowego i niewydarzonego nałożenia się dwu rozdzielnych presji ewolucyjnych – efektem nieudanych automatycznych połączeń w naszym mózgu, a nie czegokolwiek użytecznego lub sensownego. Wszystko ma ograniczoną rozpiętość czasową, nawet sama rasa ludzka. („Ziemia straciła młodzieńczość; minęła już jak radosny sen. Teraz każdy dzień zbliża nas ku unicestwieniu, ku pustyni […]”, jak mówił w *Mahābhāracie* Wjasa [3]). Obawiać się przejścia, lękać się śmierci to jak bać się samej rzeczywistości, jak bać słońca. Po cóż?

To wersja racjonalna. Nasze życie nie jest jednak poddane rozsądkowi. Rozum pomaga wyjaśniać myśli, tropić błędy. Ten sam rozum pokazuje jednak, że motywy, które pchają nas ku działaniu, wpisane są w naszą wrodzoną strukturę ssaków, łowców, istot społecznych. Rozum oświeca te związki, lecz nie on je stwarza. Nie jesteśmy w pierwszej kolejności istotami rozumnymi. Możemy stać się takimi, plus minus, w drugiej kolejności. Przede wszystkim kieruje zaś nami pragnienie życia, głód, potrzeba miłości, instynkt znalezienia swojego miejsca w społeczeństwie… Bez tych spraw to, co idzie w drugiej kolejności, nawet nie istnieje. Rozum rozsądza instynkty, ale ich samych używa jako podstawowego kryterium tego rozsądzania. Nadaje nazwy rzeczom i temu pragnieniu, pozwala nam pokonywać trudności, widzieć to, co ukryte. Pozwala nam rozpoznawać

niezliczone nieskuteczne strategie, błędne przekonania i uprzedzenia. Rozwinął się, aby pomóc nam zrozumieć, że trop, którym podążamy w przekonaniu, iż prowadzi do antylop, na które polujemy, jest w rzeczywistości fałszywy. Nie motywuje nas jednak refleksja nad życiem, tylko samo życie.

Co zatem naprawdę nas motywuje? Trudno powiedzieć. Może do końca nie wiemy. Rozpoznajemy w sobie motywacje, nadajemy im nazwy i mamy ich całkiem sporo. Sądzimy, że niektóre z nich dzielimy ze zwierzętami, inne z całą ludzkością – a jeszcze inne z mniejszymi grupami, z którymi się identyfikujemy. Głód, pragnienie, ciekawość, potrzeba towarzystwa, tęsknota do miłości, bycie zakochanym, dążenie do szczęścia, potrzeba walki o pozycję w świecie, pragnienie, by nas doceniano, szanowano, kochano; lojalność, honor, umiłowanie Boga, pragnienie sprawiedliwości i wolności, głód wiedzy…

Skąd się to wszystko bierze? Z tego, jak jesteśmy stworzeni, z tego, jacy akurat jesteśmy. Jesteśmy wytworami długiego procesu selekcji struktur chemicznych, biologicznych i kulturowych, które długo oddziaływały ze sobą na różnych poziomach, żeby nadać kształt dziwnemu procesowi, którym teraz jesteśmy – i o którym w sumie niewiele wiemy, gdy zastanawiamy się nad sobą i patrzymy w lustro. Jesteśmy bardziej złożeni, niż potrafimy to objąć dzięki własnym zdolnościom umysłowym. Rozrost płatów czołowych u ludzi jest znaczny i doprowadził nas na Księżyc, pozwolił odkryć czarne dziury i zrozumieć, że jesteśmy krewniakami biedronek. Wciąż jednak to za mało, żebyśmy byli w stanie objaśnić sobie siebie.

Nie jest nawet jasne, co to znaczy „rozumieć”. Widzimy świat i go opisujemy – nadajemy mu porządek. Niewiele jednak wiemy o faktycznym związku pomiędzy tym, co widzimy, a samym światem. Zdajemy sobie sprawę ze swojej krótkowzroczności. Dostrzegamy zaledwie maleńki wycinek z ogromnego widma elektromagnetycznego. Nie przenikamy wzrokiem atomowej struktury materii ani zakrzywienia czasoprzestrzeni. Widzimy spójny wszechświat, który ekstrapolujemy na podstawie własnego oddziaływania z nim, uporządkowany na zasadzie uproszczeń, jakimi potrafi się posługiwać nasz porażająco głupi mózg. Mówiąc o świecie, mamy na myśli kamienie, góry, chmury i ludzi – to jest „nasz świat”.

Całkiem sporo wiemy też o świecie od nas niezależnym, choć nie wiemy, ile wynosi to „całkiem sporo”.

Nasze myślenie pada ofiarą własnych słabości, a jeszcze bardziej gramatyki. Wystarczyło kilka stuleci, aby na świecie zaszła zmiana: od diabłów, aniołów i czarownic do atomów i fal elektromagnetycznych. Wystarcza kilka gramów grzybów, żeby cała rzeczywistość rozpłynęła się nam przed oczami, a potem poskładała się w zdumiewająco innym kształcie. Wystarczy spędzić pewien czas z przyjaciółką, która doświadczyła poważnego epizodu schizofrenicznego, i przez kilka tygodni mieć trudność z dogadaniem się z nią, by zdać sobie sprawę, że urojenia są potężną teatralną machiną, zdolną stworzyć iluzję świata, i pojąć, jak trudno znaleźć argumenty, które pozwoliłyby odróżnić ją od tych wielkich zbiorowych urojeń, które stanowią fundament naszego życia społecznego i duchowego oraz pojmowania przez nas świata. Częściowo może z powodu samotności – i kruchości tych, którzy odcinają się od powszechnego porządku rzeczy… [4] Obraz rzeczywistości i uporządkowane przez nas zbiorowe urojenie ewoluowało i najwyraźniej całkiem nieźle sprawdziło się w doprowadzeniu nas tu, gdzie jesteśmy. Znaleźliśmy wiele instrumentów do tego, by zajmować się tym obrazem, ale rozum okazał się jednym z najlepszych. Rozum jest skarbem.

Jest jednak tylko przyrządem, jak szczypce. Za jego pomocą obchodzimy się z substancją utworzoną z ognia i lodu: z tym, czego doświadczamy jako żywe, buchające emocje. Z tych substancji jesteśmy zbudowani. One pędzą nas do przodu i one każą się cofać, a my ubieramy je w piękne słowa. To one zmuszają nas do działania. I coś z nich zawsze umyka w naszym uporządkowanym dyskursie, skoro wiemy, że każda próba wtłoczenia czegoś w ramy porządku oznacza zostawienie czegoś poza nawiasem.

Wydaje mi się, że życie – to krótkie życie – nie jest niczym więcej jak nieprzerwanym krzykiem napędzających nas emocji, którym czasami staramy się nadać kierunek w imię boga lub politycznej wiary, przelać je w rytuał, który ma nas upewnić, że zasadniczo wszystko jest w porządku, w wielką i bezmierną miłość – i krzyk ten jest piękny. Czasem jest to krzyk bólu. Czasem jest to pieśń.

A pieśń, jak zauważył św. Augustyn, jest świadomością czasu. *Jest* czasem. To hymn Wed, który sam jest rozkwitaniem czasu [5]. W *Benedictus*

z *Mszy uroczystej* Beethovena śpiew skrzypiec jest czystym pięknem, czystą rozpaczą, czystą radością. Wzlatujemy, wstrzymujemy oddech, czując tajemniczo, że stąd wytryska sens. Że to jest źródło czasu.

Wtem śpiew cichnie i ustaje. „Wtedy przerwie się srebrny sznur, stłucze się złota czara, dzban się rozbije u źródła, a kołowrót runie do studni. Wtedy proch wróci do ziemi”[6]. I tak jest dobrze. Możemy zamknąć powieki, odpocząć. Wszystko to wydaje mi się uczciwe i piękne. Wszystko to jest czas.

1. Mbh, III, 297. [wróć]
2. Hi 42:17, Biblia Paulistów, Edycja Świętego Pawła, Częstochowa 2008. [wróć]
3. Por. Mbh, I, 119. [wróć]
4. A. Balestrieri, Il disturbo schizofrenico nell’evoluzione della mente umana. Pensiero astratto e perdita del senso naturale della realtà, „Comprendre”, 14, 2004, s. 55–60. [wróć]
5. Roberto Calasso, L’ardore, Adelphi, Milan 2010. [wróć]
6. Ks. Koheleta 12:6-7, Biblia Paulistów, Edycja Świętego Pawła, Częstochowa 2008. [wróć]

Źródła ilustracji

Strony: 18, 26, 42, 75, 84: © Peyo-2017 Licensed through I.M.P.S (Brussels) – www.smurf.com

Strona 33: Ludwig Boltzmann, litografia Rodolfa Fenziego (1899) © Hulton Archive/Getty Images

Strona 61: (po prawej): Johannes Lichtenberger, rzeźba Conrada Sifera (1493), zegar słoneczny katedry strasburskiej © Gilardi Photo Library

Strona 66: (po lewej): popiersie Arystotelesa © De Agostini/Getty Images

Strona 66: (po prawej): Isaac Newton, rzeźba Edwarda Hodgesa Baily'ego (1828), za Louis-François de Roubiliakiem (1751), National Portrait Gallery w Londynie © National Portrait Gallery, London/Foto Scala, Florence

Strona 117: Thomas Thiemann, *Dynamic of Quantum Spin Foam, seen through the eyes of an artist* © Thomas Thiemann (FAU Erlangen), Max Planck Institute for Gravitational Physics (Albert Einstein Institute), Milde Marketing Science Communication, exozet effects

Strona 141: Hildegarda z Bingen, *Liber Divinorum Operum*, Codex Latinus 1942 (XIII wiek), c. 9r, Biblioteca Statale, Lukka © Foto Scala, Florence – dzięki uprzejmości włoskiego Ministerstwa Dziedzictwa, Działalności Kulturalnej i Turystyki

Przypisy końcowe

1. Arystoteles, *Metafizyka*, I, 2, 982. [wróć]
2. Warstwowość pojęcia czasu jest szczegółowo omawiana na przykład w: J. T. Fraser, *Of Time, Passion, and Knowledge*, Braziller, New York 1975. [wróć]
3. Konieczność nadawania pojęciowym podstawom fizyki formy spójnej z naszym doświadczeniem podkreślał filozof Mauro Dorato (*Che cos'è il tempo?*, Carocci, Rzym, 2013). [wróć]
4. Jest to sedno ogólnej teorii względności (A. Einstein, *Die Grundlage der algemeinen Relativitätstheorie*, „Annalen der Physik", 49, 1916, s. 769–822). [wróć]
5. W przybliżeniu słabego pola metryka ma postać $ds^2 = (1+ 2\varphi (x))dt^2 – dx^2$, gdzie φ (x) jest potencjałem Newtonowskim. Grawitacja Newtonowska wynika z samej tylko modyfikacji składowej czasowej tensora metrycznego *goo*, czyli z lokalnego spowolnienia czasu. Geodezyjne w tej metryce opisują spadanie ciał: wyginają się one w stronę najniższego potencjału, gdzie czas zwalnia. (Te i podobne uwagi przeznaczone są dla czytelników zaznajomionych z fizyką teoretyczną). [wróć]
6. Carlo Rovelli, *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*. Mondadori, Milan 2011. Tłumaczenie angielskie: *The First Scientist: Anaximander and His Legacy*. Westholme, Yardley 2011. [wróć]
7. W. Tatarkiewicz, *Historia filozofii*, t. 1. PWN, Warszawa 2001. [wróć]
8. Na przykład $(ts - t_p) = gh/c^2\ t_p$, gdzie t_s to czas na stole, t_p to czas na podłodze, c to prędkość światła, $g = 9{,}8\ m/s^2$ to przyspieszenie Galileusza, a h to wysokość stołu. [wróć]
9. Można je zapisywać za pomocą jednej zmiennej t, „współrzędnej czasowej", ale nie oznacza ona czasu mierzonego przez zegar (określonego przez ds, a nie przez dt) i może być dowolnie zmieniana bez zmiany opisywanego świata. Owo t nie oznacza wielkości fizycznej. Wielkość mierzona przez zegary to czas własny wzdłuż krzywej wszechświata γ, zadany przez $t\gamma = \int\gamma\ \sqrt{g_{ab}}(x)dx^a dx^b$. Dalej omawiam fizyczną zależność pomiędzy tą wielkością a ds. [wróć]
10. Rainer Maria Rilke, *Elegie duinejskie*, przeł. Bernard Antochewicz, Ossolineum, Wrocław 1973. [wróć]
11. Rewolucja francuska stanowiła okres niezwykle intensywnego rozwoju nauki, w którym położono fundamenty chemii, biologii, mechaniki teoretycznej i wielu innych dziedzin. Rewolucja społeczna szła ramię w ramię z naukową. Pierwszym merem Paryża z czasów rewolucji był astronom, Lazare Carnot był matematykiem, Marat uważał się przede wszystkim za fizyka, Lavoisier angażował się w politykę, a Lagrange był obsypywany zaszczytami przez kolejne rządy w tym tragicznym i wspaniałym okresie historii ludzkości. Patrz S. Jones, *Revolutionary Science:*

Transformation and Turmoil in the Age of the Guillotine, Pegasus, New York 2017. [wróć]

12. Sadi z Szirazu, *Gulistan, to jest ogród różany*, przeł. Wojciech Kazimirski-Biberstein, Sandomierz 2011. [wróć]
13. Przy zmianie odpowiednich wielkości, na przykład znaku pola magnetycznego w równaniach Maxwella, ładunku i parzystości cząstek elementarnych itd. Istotna jest tu niezmienniczość CPT (czyli symetria odwrócenia ładunku, parzystości i czasu – ang. *Charge, Parity, Time*). [wróć]
14. Ten wniosek pozostaje w mocy po dodaniu kwantowej grawitacji. Więcej o naukowych poszukiwaniach źródła kierunku czasu można przeczytać na przykład w H.D. Zeh, *Die Physik der Zeitrichtung*, Springer, Berlin 1984. [wróć]
15. R. Clausius, *Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie*, „Annalen der Physik", 125, 1865, s. 353–400, s. 390. [wróć]
16. W szczególności jako ilość ciepła uciekającego z ciała *podzielona przez temperaturę*. Kiedy ciepło wychodzi z gorącego ciała i wchodzi do zimnego, całkowita entropia rośnie, ponieważ różnica temperatur sprawia, że entropia uciekającego ciepła jest mniejsza niż entropia spowodowana ciepłem wchodzącym. Gdy temperatura wszystkich ciał zostanie wyrównana, entropia osiągnie maksimum – nastanie stan równowagi. [wróć]
17. Arnold Sommerfeld. [wróć]
18. Wilhelm Ostwald. [wróć]
19. Do zdefiniowania entropii wymagana jest struktura *gruboziarnista* – trzeba więc odróżnić stany mikroskopowe od makroskopowych. Entropia stanu makroskopowego określona jest przez liczbę odpowiadających mu mikrostanów. W termodynamice klasycznej gruboziarnistość definiuje się w chwili, gdy wiadomo już, które zmienne układu będzie się traktować jako „kontrolowalne" lub „mierzalne" z zewnątrz (na przykład objętość lub ciśnienie gazu). Stan makroskopowy wskazuje się wtedy przez ustalenie tych właśnie zmiennych makroskopowych. [wróć]
20. Należałoby powiedzieć: w ujęciu deterministycznym, gdy pominie się mechanikę kwantową, oraz w ujęciu probabilistycznym, gdy weźmie się w rachubę mechanikę kwantową. W obu przypadkach tyczy się to tak samo przyszłości, jak i przeszłości. [wróć]
21. $S = k \ln W$. W tym równaniu S oznacza entropię, W to liczba mikrostanów lub odpowiadająca jej objętość przestrzeni fazowej, a k to stała pozwalająca dopasować (dowolne) wymiary, którą dziś nazywa się stałą Boltzmanna. [wróć]
22. Ogólna teoria względności (A. Einstein, *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*, op. cit.). [wróć]
23. Szczególna teoria względności (A. Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, „Annalen der Physik", 17, 1905, s. 891–921). [wróć]
24. Zależy ona w równym stopniu od t, co od prędkości i położenia. [wróć]
25. Poincaré. Lorentz próbował nadać t interpretację fizyczną, ale w bardzo zawiły sposób. [wróć]

26. Einstein wielokroć zapewniał, że doświadczenia Michelsona i Morleya nie były istotną częścią jego dochodzenia do szczególnej teorii względności. Uważam, że to prawda i że obrazuje ona ważny czynnik w filozofii nauki. Żeby pogłębić zrozumienie świata, nie zawsze konieczne są nowe dane. Kopernik nie miał więcej danych obserwacyjnych niż Ptolemeusz; był w stanie wyprowadzić wniosek o heliocentryzmie z pomiarów dostępnych Ptolemeuszowi dzięki lepszej ich interpretacji – tak jak zrobił to Einstein w stosunku do Maxwella. [wróć]
27. Gdybym zobaczył przez teleskop, że moja siostra obchodzi 20. urodziny, i wysłał jej wiadomość radiową, która dotarłaby do niej w dniu jej 28. urodzin, mógłbym powiedzieć, że *teraz* są jej 24. urodziny, czyli połowa czasu od chwili, gdy światło stamtąd wyleciało (20), do chwili, kiedy tam powróciło (28). To ciekawy pomysł (nie mój – tak Einstein określał „równoczesność"), nie definiuje on jednak wspólnego czasu. Jeśli Proxima b oddala się, a moja siostra posłuży się tym samym rozumowaniem, żeby obliczyć moment równoczesny z jej 24. urodzinami, w wyniku *nie otrzyma* obecnej chwili na Ziemi. Innymi słowy, wedle takiej definicji równoczesności, jeśli dla mnie chwila A w jej życiu jest równoczesna z chwilą B w moim, to stwierdzenie w drugą stronę jest nieprawdziwe: dla niej A i B nie są równoczesne. Różne prędkości, z jakimi się poruszamy, wyznaczają różne powierzchnie równoczesności. Nawet w ten sposób nie jesteśmy w stanie dotrzeć do pojęcia wspólnej „teraźniejszości". [wróć]
28. Zbiór zdarzeń, które są stąd w odległości przestrzeniopodobnej. [wróć]
29. Jednym z pierwszych ludzi, którzy zdali sobie z tego sprawę, był Kurt Gödel (*An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation*, „Reviews of Modern Physics", 21, 1949, s. 447–50). Jego własnymi słowy: „Pojęcie *teraz* nie jest niczym więcej niż pewną relacją pomiędzy określonym obserwatorem a resztą wszechświata". [wróć]
30. Przechodnie. [wróć]
31. Nawet istnienie relacji porządku częściowego może być zbyt mocnym stwierdzeniem w stosunku do rzeczywistości, jeśli istnieją zamknięte krzywe czasopodobne. Na ten temat patrz na przykład M. Lachièze- Rey, *Voyager dans le temps. La Physique moderne et la temporalité*, Éditions du Seuil, Paris 2013. [wróć]
32. To, że w podróżach do przeszłości nie ma żadnych logicznych niemożliwości, jasno pokazał w zajmującym artykule David Lewis (*The Paradoxes of Time Travel*, „American Philosophical Quarterly", 13, 1976, s. 145–52, przedruk w *The Philosophy of Time*, red. R. Le Poidevin i M. MacBeath, Oxford University Press, Oxford 1993). [wróć]
33. Tak przedstawia się przyczynową strukturę metryki czarnej dziury we współrzędnych Finkelsteina. [wróć]
34. Obiekcje wyrażają między innymi dwaj wielcy uczeni, których darzę szczególną przyjaźnią, sympatią i podziwem: Lee Smolin (*Time Reborn*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston 2013) i George Ellis (*On the Flow of Time*, FQXi Essay, 2008, https:// arxiv.org/abs/0812.0240; *The Evolving Block Universe and the Meshing Together of Times*, „Annals of the New York Academy of Sciences", 1326, 2014, s.

26–41; *How Can Physics Underlie the Mind?*, Springer, Berlin 2016). Obydwaj twierdzą z mocą, że nadrzędny czas i prawdziwa teraźniejszość muszą istnieć, nawet jeśli nie ujmuje ich obecna fizyka. Z uprawianiem nauki jest jak z życiem uczuciowym – z tymi, którzy są nam najdrożsi, potrafimy najgłośniej się sprzeczać. Klarowną obronę fundamentalnych kwestii rzeczywistości czasu można znaleźć w R. M. Unger, Lee Smolin, *The Singular Universe and the Reality of Time* (Cambridge University Press, Cambridge 2015). Kolejnym drogim mi przyjacielem, który broni pojęcia faktycznego upływu jedynego czasu, jest Samy Maroun. Wspólnie analizowaliśmy możliwość przepisania fizyki teorii względności z rozróżnieniem czasu nadającego rytm procesom (czasu „metabolicznego") i „prawdziwego" czasu uniwersalnego (S. Maroun, C. Rovelli, *Universal Time and Spacetime* „Metabolism", 2015). To jest możliwe, a zatem można obronić punkt widzenia Smolina, Ellisa i Marouna. Czy jednak jest on obiecujący? Mamy wybór pomiędzy dopasowaniem opisu świata do naszej intuicji oraz dostosowaniem swojej intuicji do tego, czego dowiedzieliśmy się o świecie. Nie mam zbytnich wątpliwości, że to drugie podejście jest bardziej obiecujące. [wróć]

35. O wpływie narkotyków na postrzeganie czasu można przeczytać w R. A. Sewell i in., *Acute Effects of THC on Time Perception in Frequent and Infrequent Cannabis Users*, „Psychopharmacology", 226, 2013, s. 401–13; bezpośrednie doświadczenie tego jest oszałamiające. [wróć]
36. V. Arstila, *Time Slows Down during Accidents*, „Frontiers in Psychology", 3, 196, 2012. [wróć]
37. W naszym kręgu kulturowym. W innych kulturach bywają zasadniczo odmienne pojęcia czasu: D. L. Everett, *Don't Sleep, There are Snakes*, Pantheon, New York 2008. [wróć]
38. Mt 20, 1-16. [wróć]
39. P. Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*, Norton, New York 2003, s. 126. [wróć]
40. Wyśmienicie nakreśloną historyczną panoramę tego, jak technika stopniowo zmieniała pojmowanie czasu, można znaleźć w A. Frank, *About Time*, Free Press, New York 2001. [wróć]
41. D. A. Golombek, I. L. Bussi i P. V. Agostino, *Minutes, Days and Years: Molecular Interactions among Different Scales of Biological Timing*, „Philosophical Transactions of the Royal Society". Series B: Biological Sciences, 369, 2014. [wróć]
42. „Albowiem czas jest właśnie ilością ruchu ze względu na »przed« i »po«" (Arystoteles, *Fizyka*, IV, 219 b 2; patrz również 232 b 22–3; wydanie polskie: Arystoteles, *Zachęta do filozofii, fizyka*, przeł. Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa 2010, s. 173). [wróć]
43. Arystoteles, *Zachęta do filozofii, fizyka*, przeł. Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa 2010, s. 172. [wróć]
44. Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Księga I, def. VIII, scholium. Wydanie polskie: Isaac Newton, *Matematyczne zasady filozofii naturalnej*, przeł. Sławomir Brzezowski, Copernicus Center Press, Kraków 2015. [wróć]

45. Tamże. [wróć]
46. Wstęp do filozofii czasu i przestrzeni można znaleźć w: B. C. van Fraassen, *An Introduction to the Philosophy of Time and Space*, Random House, New York 1970. [wróć]
47. Podstawowym równaniem Newtona jest $F = m\ d^2x/dt^2$. (Zauważmy, że czas t jest w kwadracie: oznacza to, że równanie nie odróżnia t od $-t$, czyli jest takie samo do przodu i wstecz w czasie, jak wyjaśniam w rozdziale 2). [wróć]
48. Co ciekawe, wiele współczesnych podręczników historii nauki ukazuje spór pomiędzy Leibnizem a zwolennikami Newtona, jakby to ten pierwszy zajmował stanowisko heterodoksyjne, głosząc śmiałe i innowacyjne idee relacjonistyczne. W rzeczywistości było przeciwnie: Leibniz bronił (posługując się zestawem nowych argumentów) dominujące i tradycyjne rozumienie przestrzeni, które zawsze od Arystotelesa po Kartezjusza było relacjonistyczne. [wróć]
49. Definicja Arystotelesa była precyzyjniejsza: miejscem przedmiotu jest *wewnętrzna granica* tego, co otacza przedmiot. Jest to eleganckie i ścisłe sformułowanie. [wróć]
50. Horacy, *Dzieła wszystkie*, t. 1, opr. Oktawiusz Jurewicz, przeł. Zygmunt Kubiak. PWN, Warszawa 2000. [wróć]
51. Piszę o tym obszerniej w *Rzeczywistość nie jest tym, czym się wydaje*, tłum. Michał Czerny, Wydawnictwo Feeria, Łódź 2017. [wróć]
52. Nie jest możliwe znalezienie stopnia swobody w objętości przestrzeni fazowej mniejszej od stałej Plancka. [wróć]
53. Prędkość światła, stała grawitacji Newtona i stała Plancka. [wróć]
54. Majmonides, *Przewodnik błądzących*, I, 73, 106a. [wróć]
55. Możemy próbować wnioskować o myśli Demokryta z rozważań Arystotelesa (na przykład w *Fizyce*, IV, 213), lecz materiał ten jest według mnie niewystarczający. Patrz *Democrito. Raccolta dei frammenti, interpretazione e commentario di Salomon Luria, Bompiani, Milan 2007.* [wróć]
56. Chyba że słuszna jest teoria de Broglie'a–Bohma, według której ma określone położenie, ale to przed nami ukrywa. Co w sumie nie robi chyba dużej różnicy. [wróć]
57. Carlo Rovelli, *Relational Quantum Mechanics*, „International Journal of Theoretical Physics", 35, 1637 (1996), http://arxiv.org/abs/quant-ph/9609002. Patrz również: *The Sky is Blue and Birds Fly Through It*, http://arxiv.org/abs/1712.02894. [wróć]
58. Grateful Dead, *Walk in the Sunshine*. [wróć]
59. Nelson Goodman, *The Structure of Appearance*, Harvard University Press, MA, Cambridge, 1951. [wróć]
60. Odmienne poglądy zostały przedstawione w przypisie 39 w rozdziale 3. [wróć]
61. W terminologii głośnego artykułu Johna McTaggarta (*The Unreality of Time*, „Mind", N.S., 17, 1908, s. 457–74; przedruk w „The Philosophy of Time", wyd. cyt.) jest to równoważne zaprzeczeniu realności A-ciągów (architektury czasu typu „przeszłość–teraźniejszość–przyszłość"). Znaczenie determinacji czasowych zostałoby wtedy zredukowane wyłącznie do B-ciągów (architektury czasu typu „przed tym, po tym"). Zdaniem McTaggarta implikuje to negację realności czasu. Według mnie McTaggart

jest zbyt kategoryczny: to, że mój samochód działa inaczej, niż to sobie wyobrażałem i pierwotnie ułożyłem w swojej głowie, nie oznacza, że nie jest on rzeczywisty. [wróć]

62. List Einsteina do syna i siostry Michelego Besso, 21 marca 1955 roku, w: Albert Einstein i Michele Besso, *Correspondence, 1903–1955*, Hermann, Paris 1972; w języku polskim ukazał się w: Alice Calaprice, *Einstein w cytatach*, przeł. Marek Krośniak, Poltext, Warszawa 2014. [wróć]
63. Klasyczną argumentację za wszechświatem blokowym podał filozof Hilary Putnam w znanym artykule z 1967 roku (*Time and Physical Geometry*, „Journal of Philosophy", 64, s. 240–47). Użył on Einsteinowskiej definicji równoczesności. Jak widzieliśmy w przypisie 31 w rozdziale 3, jeśli Ziemia i Proxima b poruszają się względem siebie – powiedzmy, że się do siebie zbliżają – zdarzenie A na Ziemi jest równoczesne (dla Ziemianina) ze zdarzeniem B na Proximie b, które jest z kolei równoczesne (dla mieszkańców Proximy b) ze zdarzeniem C na Ziemi, *przyszłym w stosunku do A*. Putnam założył, że z „bycia równoczesnym" wynika „bycie realnym teraz", i wyciągnął stąd wniosek, że zdarzenie w przyszłości (takie jak C) jest rzeczywiste teraz. Błąd leży w założeniu, że definicja równoczesności Einsteina ma wartość ontologiczną, podczas gdy została stworzona jedynie w celach praktycznych. Służy ona ustaleniu relatywistycznego pojęcia, które może być w przybliżeniu zredukowane do nierelatywistycznego. Jednakże równoczesność nierelatywistyczna jest pojęciem zwrotnym i przechodnim, a Einsteinowska nie – bezsensownie jest zatem przyjmować, że poza oferowaniem przybliżenia mają one taki sam sens ontologiczny. [wróć]
64. Argument, iż z odkrycia w fizyce niemożliwości prezentyzmu wynika, że czas jest złudzeniem, został wytoczony przez Gödla (*A Remark about the Relationship between Relativity Theory and Idealistic Philosophy*, w: *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, red. P. A. Schlipp, Library of Living Philosophers, Evanston 1949). Błąd zawsze polega na definiowaniu czasu jako pojedynczego kompleksu pojęciowego, który albo jest prawdziwy, albo nieprawdziwy w całości. Klarownie omówił tę kwestię Mauro Dorato (*Che cos'è il tempo?*, wyd. cyt., s. 77). [wróć]
65. Patrz na przykład: W. V. O. Quine, *On What There Is*, „Review of Metaphysics", 2, 1948, s. 21–38 oraz świetna rozprawa o znaczeniu rzeczywistości w: J. L. Austin, *Sense and Sensibilia*, Clarendon Press, Oxford 1962. [wróć]
66. *De Hebd.*, II, 24, cytowany w: C. H. Kahn, *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology*, Columbia University Press, New York 1960, s. 84–5. [wróć]
67. Przeł. Józef Paszkowski. [wróć]
68. Oto przykłady ważnych kwestii, w których Einstein najpierw mocno przy czymś obstawał, by potem zmienić zdanie: 1. Rozszerzanie się wszechświata (najpierw je wykpiwał, potem je zaaprobował); 2. Istnienie fal grawitacyjnych (najpierw przyjmował je za oczywistość, potem odrzucał, potem znów się ku nim przychylał); 3. Równania teorii względności nie dopuszczają rozwiązań bez materii (długo bronił tej tezy, lecz – słusznie – ją porzucił); 4. Poza horyzontem Schwarzschilda nic nie istnieje (błędne mniemanie, choć możliwe, że nigdy nie zdał sobie z tego sprawy); 5. Równania pola grawitacyjnego nie mogą podlegać ogólnej kowariancji (stwierdzenie

ze wspólnej pracy z Grossmannem z 1912 r.; trzy lata później Einstein przekonywał o tezie przeciwnej); 6. Znaczenie stałej kosmologicznej (najpierw je potwierdzał, potem je negował – rację miał na początku). [wróć]

69. Alice Calaprice, *Einstein w cytatach*, przeł. Marek Krośniak, Poltext, Warszawa 2014. [wróć]
70. W ramach mechaniki ogólną postać teorii mówiącej o zmianie układu *w czasie* nadaje przestrzeń fazowa oraz hamiltonian *H*. Zmianę tę opisują orbity generowane przez *H* sparametryzowane czasem *t*. Ogólną postać teorii opisującej ewolucję zmiennych *względem siebie nawzajem* nadaje natomiast przestrzeń fazowa i więzy *C*. Związki pomiędzy zmiennymi zadane są przez orbity generowane przez *C* w podprzestrzeni *C* = 0. Parametryzacja tych orbit nie ma żadnego znaczenia fizycznego. Szczegółowe formalne omówienie można znaleźć w rozdziale 3 w: Carlo Rovelli, *Quantum Gravity*, Cambridge University Press, Cambridge 2004. Zwięzły opis techniczny znajduje się w: Carlo Rovelli, *Forget Time*, „Foundations of Physics", 41, 2011, s. 1475–90, https://arxiv.org/abs/0903.3832. [wróć]
71. Przystępne objaśnienie pętlowej grawitacji kwantowej można znaleźć w Rovelli, *Rzeczywistość nie jest tym, czym się wydaje*, wyd. cyt. [wróć]
72. B. S. DeWitt, *Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory*, „Physical Review", 160, 1967, s. 1113–48. [wróć]
73. J. A. Wheeler, *Hermann Weyl and the Unity of Knowledge*, „American Scientist", 74, 1986, s. 366–75. [wróć]
74. J. Butterfield, C. J. Isham, „On the Emergence of Time in Quantum Gravity", in *The Arguments of Time*, red. J. Butterfield, Oxford University Press, Oxford 1999, s. 111–68 (http:// philsci-archive.pitt.edu/1914/1/EmergTimeQG=9901024.pdf). H.-D. Zeh, *Die Physik der Zeitrichtung*, wyd. cyt., *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale*, red. C. Callender i N. Huggett, Cambridge University Press, Cambridge 2001. S. Carroll, *From Eternity to Here*, Dutton, New York 2010. [wróć]
75. Ogólną postać teorii kwantowej opisującej zmianę układu *w czasie* zadaje przestrzeń Hilberta i operator hamiltonianu *H*. Ewolucję opisuje równanie Schrödingera $i\hbar\partial t\ \Psi = H\Psi$. Prawdopodobieństwo pomiaru stanu czystego Ψ po czasie *t* od zmierzenia stanu Ψ' dane jest amplitudą przejścia $\cdot\Psi|\exp[-iHt/\hbar]|\Psi'\cdot$. Ogólna postać teorii kwantowej opisującej ewolucję zmiennych *względem siebie nawzajem* zadana jest przestrzenią Hilberta i równaniem Wheelera-DeWitta $C\Psi = 0$. Prawdopodobieństwo pomiaru stanu Ψ jest określone amplitudą $\cdot\Psi| \int dt\ \exp[-iCt/\hbar]|\Psi'\cdot$. Szczegółowe omówienie formalne można znaleźć w rozdziale 5 w: Carlo Rovelli, *Quantum Gravity,* wyd. cyt. Jego zwięzła wersja znajduje się w: Carlo Rovelli, „Forget Time", wyd. cyt. [wróć]
76. B. S. DeWitt, *Sopra un raggio di luce*, Di Renzo, Rome 2005. [wróć]
77. W tej teorii są trzy – zadają przestrzeń Hilberta, w której zdefiniowane są podstawowe operatory, których stany własne opisują kwanty przestrzeni i prawdopodobieństwa przejścia pomiędzy nimi. [wróć]
78. Spin jest wielkością zliczającą reprezentacje grupy SO(3), to jest grupy symetrii przestrzennych. Jest to cecha wspólna matematycznego opisu sieci spinowych oraz zwykłej przestrzeni fizycznej. [wróć]

79. Koncepcje te są szczegółowo omówione w: Carlo Rovelli, *Rzeczywistość nie jest tym, czym się wydaje*, wyd. cyt. [wróć]
80. Horacy, *Dzieła wszystkie*, przeł. Andrzej Lam, Unia Wydawnicza „Verum”, Warszawa 1996. [wróć]
81. Por. Ks. Koheleta 3:2-4, Biblia Tysiąclecia. [wróć]
82. A dokładniej znajomość hamiltonianu H, czyli energii jako funkcji położenia i prędkości. [wróć]
83. $dA / dt = \{A, H\}$, gdzie { , } to nawiasy Poissona, a A jest dowolną zmienną. [wróć]
84. Ergodyczny. [wróć]
85. Równania te są czytelniejsze w postaci kanonicznej Boltzmanna niż w postaci mikrokanonicznej, do której odwołuję się w tekście: stan $\rho = \exp[-H/kT]$ określony jest przez hamiltonian H, generujący ewolucję czasu. [wróć]
86. Równanie $H = -kT \ln[\rho]$, wychodząc od stanu ρ, określa hamiltonian (z dokładnością do stałej multiplikatywnej), a co za tym idzie czas „cieplny”. [wróć]
87. Roger Penrose, *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000; *Droga do rzeczywistości. Wyczerpujący przewodnik po prawach rządzących Wszechświatem*, Prószyński i S-ka, Warszawa ca 2006. [wróć]
88. W podręcznikowej terminologii mechaniki kwantowej nazywa się to tradycyjnie „pomiarem”. Ponownie termin ten może być o tyle mylący, że bardziej kojarzy się z laboratoriami fizycznymi niż po prostu ze światem. [wróć]
89. Twierdzenie Tomity–Takesakiego mówi o tym, że stan na algebrze von Neumanna zadaje przepływ (jednoparametrową modularną grupę automorfizmów). Connes wykazał, że przepływy zadane przez różne stany są równoważne z dokładnością do automorfizmów wewnętrznych, a zatem definiują abstrakcyjny przepływ określony *wyłącznie* przez nieprzemienną strukturę algebry. [Polski czytelnik może dowiedzieć się więcej na ten temat na przykład z artykułu Michała Hellera *Nieprzemienna unifikacja dynamiki i prawdopodobieństwa*, „Filozofia Nauki” 12/1, 2004, s. 7–17 – przyp. tłum.] [wróć]
90. Automorfizmów wewnętrznych, o których była mowa w poprzednim przypisie. [wróć]
91. W algebrze von Neumanna czas cieplny danego stanu odpowiada dokładnie przepływowi Tomity! Stan ten jest wtedy stanem KMS względem tego przepływu. [wróć]
92. Patrz Carlo Rovelli, *Statistical Mechanics of Gravity and the Thermodynamical Origin of Time*, „Classical and Quantum Gravity”, 10, 1993, s. 1549–66; Alain Connes i Carlo Rovelli, *Von Neumann Algebra Automorphisms and Time–Thermodynamics Relation in General Covariant Quantum Theories*, „Classical and Quantum Gravity”, 11, 1994, s. 2899–918. [wróć]
93. A. Connes, D. Chéreau i H. Dixmier, *Le Théâtre quantique*, Odile Jacob, Paris 2013. [wróć]
94. Jest wiele mylnie rozumianych aspektów tego pytania. Wyśmienite i przekonujące opracowanie krytyczne można znaleźć w: J. Earman, *The „Past Hypothesis”: Not*

Even False, „Studies in History and Philosophy of Modern Physics”, 37, 2006, s. 399–430. W niniejszej książce „mała entropia początkowa” występuje w ogólniejszym znaczeniu, które, jak przedstawia to Earman w swoim artykule, rzadko bywa dobrze rozumiane. [wróć]

95. Friedrich Nietzsche, *Wiedza radosna*, przeł. Leopold Staff, Nietzsche Seminarium, Łódź-Wrocław 2010, s. 307. [wróć]
96. Szczegóły techniczne można znaleźć w Carlo Rovelli, *Is Time's Arrow Perspectival?* (2015), w: *The Philosophy of Cosmology*, red. K. Chamcham, J. Silk, J. D. Barrow i S. Saunders, Cambridge University Press, Cambridge 2017, https://arxiv.org/abs/1505.01125. [wróć]
97. W klasycznym sformułowaniu termodynamiki opisujemy układ, wybierając najpierw pewne zmienne, co do których zakładamy, że możemy je z zewnątrz kontrolować (na przykład poruszając tłokiem) lub zmierzyć (tak jak względne stężenie składników). To są „zmienne termodynamiczne” („wielkości termodynamiczne”). Termodynamika nie jest w istocie opisem samego układu, lecz opisem *tych właśnie* zmiennych układu – zmiennych, za pomocą których w założeniu możemy oddziaływać z układem. [wróć]
98. Na przykład entropia powietrza w tym pokoju ma wartość określoną przez założenie, że jest to jednorodny gaz, ale zmieni się (zmaleje), gdy dokonam pomiaru składu chemicznego powietrza. [wróć]
99. Współczesnym filozofem, który rzucił światło na te aspekty zależnej od punktu widzenia natury wszechświata, jest Jenann T. Ismael, w: *The Situated Self* (Oxford University Press, New York 2007). Ismael napisał również wyśmienitą książkę o wolnej woli: *How Physics Makes Us Free* (Oxford University Press, New York 2016). [wróć]
100. David Z. Albert (*Time and Chance*, Harvard University Press, Cambridge, MA 2000) postuluje, by wynieść niską entropię na początku wszechświata do rangi prawa przyrody, nazywając to *hipotezą przeszłości*. [wróć]
101. To kolejna kwestia prowadząca do nieporozumień: skurczony obłok wydaje się bardziej „uporządkowany” w porównaniu do rozproszonego. Wcale taki nie jest, ponieważ prędkości wszystkich cząsteczek rozproszonego obłoku są niewielkie (w uporządkowany sposób), gdy zaś następuje jego kondensacja, prędkości te zwiększają się i rozrzucają po przestrzeni fazowej. Cząsteczki gromadzą się w przestrzeni fizycznej, ale rozpraszają w fazowej, a ta ma tu znaczenie. [wróć]
102. Patrz w szczególności: S. A. Kauffman, *Humanity in a Creative Universe*, Oxford University Press, New York 2016. [wróć]
103. O tym, jak ważne jest istnienie takiej rozgałęzionej struktury oddziaływań we wszechświecie dla zrozumienia wzrostu lokalnej entropii, można przeczytać na przykład u Hansa Reichenbacha (*The Direction of Time*, University of California Press, Berkeley 1956). Jest to podstawowy tekst dla każdego, kto ma wątpliwości co do tego rozumowania lub kto chciałby je lepiej zgłębić. [wróć]
104. Więcej na temat dokładnego związku pomiędzy śladami a entropią, patrz: Hans Reichenbach, *The Direction of Time*, wyd. cyt., zwłaszcza jego omówienie związku pomiędzy entropią, śladami i *wspólną przyczyną*, oraz D. Z. Albert, *Time and Chance*,

wyd. cyt. Nowe podejście można znaleźć w D. H. Wolpert, *Memory Systems, Computation and the Second Law of Thermodynamics*, „International Journal of Theoretical Physics”, 31, 1992, s. 743–85. [wróć]

105. Przeł. Józef Paszkowski. [wróć]
106. Omówienie tego, co znaczy dla nas „przyczyna”, można znaleźć w N. Cartwright, *Hunting Causes and Using Them*, Cambridge University Press, New York 2007. [wróć]
107. „Wspólna przyczyna” wg terminologii Reichenbacha. [wróć]
108. Bertrand Russell, *On the Notion of Cause*, „Proceedings of the Aristotelian Society”, New Series, 13, 1912–1913, s. 1–26. [wróć]
109. N. Cartwright, *Hunting Causes and Using Them*, wyd. cyt. [wróć]
110. Klarowne omówienie kwestii kierunku czasu znajduje się w H. Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point*, Oxford University Press, Oxford 1996. [wróć]
111. *Mil.*, II, 1, in *Sacred Books of the East*, vol. XXXV, 1890. [wróć]
112. Carlo Rovelli, *Meaning = Information + Evolution*, 2016, https://arxiv.org/abs/1611.02420. [wróć]
113. G. Tononi, O. Sporns i G. M. Edelman, *A Measure for Brain Complexity: Relating Functional Segregation and Integration in the Nervous System*, „Proceedings of the National Academy of Sciences USA”, 91, 1994, s. 5033–7. [wróć]
114. J. Hohwy, *The Predictive Mind*, Oxford University Press, Oxford 2013. [wróć]
115. Patrz na przykład: V. Mante, D. Sussillo, K. V. Shenoy i W. T. Newsome, *Context–dependent Computation by Recurrent Dynamics in the Prefrontal Cortex*, „Nature”, 503, 2013, s. 78–84 oraz literatura cytowana w tym artykule. [wróć]
116. D. Buonomano, *Mózg, władca czasu. Dlaczego dzień może być krótszy, niż godzina, a minuta dłuższa od dnia*, przeł. A. Tuz, Prószyński i S-ka, Warszawa 2018. [wróć]
117. Św. Augustyn, *Wyznania* (ks. XI, 27), przeł. Jan Czuj, PAX, Warszawa 1954. [wróć]
118. *La Condemnation parisienne de 1277*, red. D. Piché, Vrin, Paris 1999. [wróć]
119. Edmund Husserl, *Vorlesungen zur Phänomenologie des inneren Zeitbewusstseins*, Niemeyer, Halle a. d. Saale 1928. [wróć]
120. W cytowanym tekście Husserl podkreśla, że nie stanowi to „zjawiska fizycznego”. Dla naturalisty brzmi to jak deklaracja: Husserl nie *chce* postrzegać pamięci jako zjawiska fizycznego, ponieważ *zdecydował*, by wychodzić w swej analizie od doświadczenia fenomenologicznego. Z badań dynamiki neuronów w mózgu wynika przebieg tego zjawiska w ujęciu fizycznym: obecny fizyczny stan mojego mózgu „zachowuje” swój stan przeszły, który stopniowo zaciera się, im bardziej oddalamy się od przeszłości. Patrz na przykład: M. Jazayeri i M. N. Shadlen, *A Neural Mechanism for Sensing and Reproducing a Time Interval*, „Current Biology”, 25, 2015, s. 2599–609. [wróć]
121. Martin Heidegger, *Einführung in die Metaphysik* (1935) w: Gesamtausgabe, t. XL, Klostermann, Frankfurt am Main 1983, s. 90. [wróć]
122. Martin Heidegger, *Sein und Zeit* (1927), in *Gesamtausgabe*, wyd. cyt., t. II, 1977, *passim*; tłum. na j. ang. jako *Being and Time*. [wróć]

123. M. Proust, *W poszukiwaniu straconego czasu*, *W stronę Swanna*, przeł. Tadeusz Boy-Żeleński, Warszawa 1937; wydanie cyfrowe: Fundacja Nowoczesna Polska, wolnelektury.pl. [wróć]
124. Tamże. [wróć]
125. G. B. Vicario, *Il tempo. Saggio di psicologia sperimentale*, Il Mulino, Bologna 2005. [wróć]
126. Spostrzeżenie to, dość powszechnie spotykane, można znaleźć na przykład we wstępie do J. M. E. McTaggart, *The Nature of Existence*, Cambridge University Press, Cambridge, t. I, 1921. [wróć]
127. Być może jako *Lichtung*, jak w: Martin Heidegger, *Holzwege* (1950), w: *Gesamtausgabe*, wyd. cyt., t. V, 1977, *passim*. [wróć]
128. Według Durkheima (*Les Formes élémentaires de la vie religieuse*, Alcan, Paris 1912), jednego z twórców socjologii, pojęcie czasu – jak inne wielkie kategorie myślowe – ma swe źródło w społeczeństwie, a zwłaszcza w jego strukturze religijnej, która ustala jego podstawową postać. Jeśli teza ta ma być prawdziwa względem złożonych aspektów pojęcia czasu – jego „bardziej zewnętrznych warstw" – wydaje mi się, że trudno ją rozszerzyć tak, aby obejmowała nasze bezpośrednie doświadczenie upływu czasu. Przecież inne ssaki mają mózgi z grubsza podobne do naszych, *doświadczają* więc upływu czasu tak jak my, bez potrzeby udziału społeczeństwa lub religii. [wróć]
129. Więcej o czasie jako fundamencie ludzkiej psychiki w klasycznym dziele Williama Jamesa *The Principles of Psychology*, Henry Holt, New York 1890. [wróć]
130. *Mahāvagga*, I, 6, 19, w *Sacred Books of the East*, t. XIII, 1881. W zakresie idei związanych z buddyzmem czerpałem zwłaszcza z H. Oldenburg, *Buddha*, Dall'Oglio, Milan 1956. [wróć]
131. Hugo von Hofmannstahl, *Der Rosenkavalier*, Akt I. [wróć]